



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Secretaria dos Recursos Hídricos

Frecheirinha



Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

ETAPAC1-PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto



EPP
ENGENHARIA

Edição Final
Novembro/2020



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

**SERVIÇOS DE CONSULTORIA PARA A ELABORAÇÃO
DOS ESTUDOS DE VIABILIDADE, ESTUDOS AMBIENTAIS
(EIA-RIMA), LEVANTAMENTO CADASTRAL, PLANO DE
REASSENTAMENTO E PROJETO EXECUTIVO DA
BARRAGEM FRECHEIRINHA NO MUNICÍPIO DE
FRECHEIRINHA, NO ESTADO DO CEARÁ.**

ETAPA C1 - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem

TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A empresa **TPF Engenharia Ltda** e a **Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE)** celebraram o contrato nº 03/SRH 2017, que tem como objetivo a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, cujo objetivo principal é a criação de um reservatório no rio Caiçara com o intuito de promover o controle dos recursos hídricos da bacia do rio Coreaú, atendendo as demandas de água da região, proporcionando um aproveitamento racional da água acumulada tendo como finalidade principal o abastecimento humano e o dessedentação animal.

As fases para o desenvolvimento do projeto executivo da barragem Frecheirinha são as seguintes:

- **FASE A – ESTUDO DE VIABILIDADE**

- ETAPA A1 - Estudos de Alternativas de Localização da Barragem – Relatório de Identificação de Obra - RIO - e Viabilidade Ambiental (EVA)
 - ✓ Volume I - Relatório de Identificação de Obras - RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA
 - Tomo 1 - Estudo de Alternativas de Localização da Barragem
 - Tomo 2 - Desenhos
 - Tomo 1B - Anexos
 - Tomo 2 - Estudos de Viabilidade Ambiental
- ETAPA A2 - Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem
 - ✓ Volume I - Estudos Básicos
 - Tomo 1 - Relatório Geral
 - Tomo 2 - Cartografia (Textos)
 - Tomo 2A - Cartografia (Desenhos)

- Tomo 2B - Cartografia Memória de Cálculo - (Croquis e Fotos)
- Tomo 2C - Estudos Topográficos
- Tomo 3 - Hidrologia (Textos)
- Tomo 4 - Geologia e Geotecnia (Textos)
- Tomo 4 A - Geologia e Geotecnia (Anexos) – Partes I, II, III e IV
- ✓ Volume II - Anteprojeto da Barragem
 - Tomo 1 - Relatório de Concepção do Anteprojeto
 - Tomo 2 - Desenhos
 - Tomo 1B - Memória de Cálculo
- ETAPA A3 - Relatório Final de Viabilidade Técnico, Econômico e Financeiro - RFV
 - ✓ Volume I - Relatório Final de Viabilidade Técnico, Econômico e Financeiro da Barragem
- **FASE B - ESTUDOS AMBIENTAIS, LEVANTAMENTOS CADASTRAIS E PLANO DE REASSENTAMENTO**
 - ETAPA B1 - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA-RIMA)
 - ✓ Volume I - Relatório EIA/RIMA
 - Tomo 1 - Estudos dos Impactos Ambientais (EIA)
 - Tomo 2 - Relatório dos Impactos no Meio Ambiente
 - Tomo 3 - Relatório de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica
 - ETAPA B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento
 - ✓ Volume I - Levantamento Cadastral
 - Tomo 1 - Relatório Geral
 - Tomo 2- Laudos Individuais de Avaliação
 - Tomo 3 - Levantamento Topográfico

- ✓ Volume II - Relatório de Reassentamento
 - Tomo 1 - Diagnóstico
 - Tomo 2 - Detalhamento do Projeto de Reassentamento
 - Tomo 3 - Relatório Final de Reassentamento
- **FASE C - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**
 - **ETAPA C1 - Projeto Executivo da Barragem**
 - ✓ **Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem**
 - Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto**
 - Tomo 2 - Desenhos
 - Tomo 3 - Memória de Cálculo
 - Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento
 - Tomo 5 - Quantitativos e Orçamento
 - Tomo 6 - Relatório Síntese
 - ETAPA C2 - Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH
 - ✓ Volume I - Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH

O presente relatório, denominado **Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto**, é parte integrante da **Etapa C1 - Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio Caiçara, afluente do rio Coreau.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	17
1.1 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS	17
1.2 - FICHA TÉCNICA	19
1.3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	23
2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS	26
2.1 - CARTOGRAFIA	26
2.1.1 - BASE CARTOGRÁFICA	26
2.1.2 - MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO	30
2.1.3 - CONTROLE DE QUALIDADE DOS ERROS	34
2.2 - TOPOGRAFIA	35
2.2.1 - METODOLOGIA DE EXECUÇÃO	35
2.2.2 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	36
2.2.3 - FORMA DE EXECUÇÃO	36
2.2.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL PRINCIPAL	40
2.2.5 - LEVANTAMENTO DOS DIQUES AUXILIARES	41
2.2.6 - LEVANTAMENTO DO SANGRADOURO	45
2.2.7 - LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS	46
2.3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS	50
2.3.1 - ESTUDOS GEOLÓGICOS	50
2.3.2 - INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS NOS LOCAIS DAS OBRAS	74
2.3.3 - ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	84
2.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	93
2.4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	93
2.4.2 - O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA	106
2.4.3 - ESTUDOS DO REGIME FLUVIAL	114
2.4.4 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	120
2.4.5 - ESTUDO DE PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO	128
2.4.6 - ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO	130
3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO	133
3.1 - BARRAGEM PRINCIPAL	133
3.1.1 - INSTRUMENTAÇÃO	138
3.2 - VERTEDOURO	139
3.2.1 - JUNTAS DE DILATAÇÃO	140

3.2.2 - SISTEMA DE DRENAGEM DA LAJE DO VERTEDOURO	141
3.3 - DIQUES.....	142
3.4 - TOMADA D'ÁGUA.....	144
3.4.1 - INTRODUÇÃO	144
3.4.2 - DESCRIÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA	144
3.4.3 - EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS	146
3.4.4 - CASA DE COMANDO.....	149
3.4.5 - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	150
3.5 - INTERFERÊNCIAS COM INFRAESTRUTURAS EXISTENTES	161
3.6 - PLANILHA DE QUANTITATIVOS	161
3.7 - DESENHOS	161
4 - CANTEIRO DE OBRAS.....	165
5 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	167
ANEXO 1 – CROQUI DAS JAZIDAS DE MATERIAIS	170

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DO ESTUDO	24
FIGURA 2.1 - EXEMPLO DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	27
FIGURA 2.2 - BACIA HIDROGRÁFICA – REDE DE DRENAGEM	28
FIGURA 2.3 - BACIA HIDROGRÁFICA – MAPA DE DECLIVIDADE	29
FIGURA 2.4 - FLUXOGRAMA COM O DETALHAMENTO DA METODOLOGIA ADOTADA.....	30
FIGURA 2.5 - ESQUEMA DE GERAÇÃO DE MOSAICO DE IMAGENS	32
FIGURA 2.6 - MDT GERADO A PARTIR DA CONVERSÃO AUTOMÁTICA DO MDS	33
FIGURA 2.7 - TRECHO DE CURVAS DE NÍVEL EXTRAÍDAS A PARTIR DO MDT GERADO.....	34
FIGURA 2.8 - REFERÊNCIA DE NÍVEL DO IBGE PARA TRANSPORTE E NIVELAMENTO DA BARRAGEM.....	37
FIGURA 2.9 - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA.....	37
FIGURA 2.10 - TRANSPORTE DE COORDENADAS – MÉTODO: POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO – PPP.....	38
FIGURA 2.11 - DESVIO PADRÃO OBTIDO PELO TRANSPORTE DE COORDENADAS ATRAVÉS DO MÉTODO DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO – PPP.....	39
FIGURA 2.12 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO SÍTIO PRINCIPAL DA BARRAGEM FREICHEIRINHA.....	41
FIGURA 2.13 - MODELO GERADO - DEMARCAÇÃO DO EIXO E SEÇÕES TRANSVERSAIS DO DIQUE 1.....	44
FIGURA 2.14 - MODELO GERADO - DEMARCAÇÃO DO EIXO E SEÇÕES TRANSVERSAIS DO DIQUE 2.....	44
FIGURA 2.15 - MODELO GERADO - DEMARCAÇÃO DO EIXO E SEÇÕES TRANSVERSAIS DO DIQUE 3.....	44
FIGURA 2.16 - LEVANTAMENTO DOS DOIS LOCAIS ESTUDADOS PARA O SANGRADOURO.....	46
FIGURA 2.17 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS ESTUDADOS (ALTERNATIVAS) E DAS JAZIDAS	47
FIGURA 2.18 - SISMICIDADE E MECANISMO FOCAIS NO NORDESTE ORIENTAL.	52
FIGURA 2.19 - DOMÍNIOS TECTÔNICOS DO ESTADO DO CEARÁ	54
FIGURA 2.20 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA IBIAPABA SETENTRIONAL.....	57
FIGURA 2.21 - DOMÍNIOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO NORTE DA PROVÍNCIA BORBOREMA (FETTER, 1999)	58
FIGURA 2.22 - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DO DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ, NW DO ESTADO DO CEARÁ.....	68
FIGURA 2.23– PRESENÇA DE AFLORAMENTOS DE METARENITOS.....	70
FIGURA 2.24 – PRESENÇA DE AFLORAMENTO DE QUARTZITO	71
FIGURA 2.25 – PRESENÇA DE AFLORAMENTO DE ARDÓSIAS NAS PROXIMIDADES DO EIXO ...	72

FIGURA 2.26 - COBERTURA SEDIMENTAR NO EIXO, FORMADA POR SOLOS DE ALTERAÇÃO DAS ARDÓSIAS.....	73
FIGURA 2.27 – PRESENÇA DE AREIAS NO LEITO DO RIACHO CAIÇARAS	73
FIGURA 2.28 – PRESENÇA DE SOLOS ALUVIAIS NA CALHA DO RIACHO CAIÇARAS	74
FIGURA 2.29 - LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM NA BARRAGEM	76
FIGURA 2.30 - LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM NOS VERTEDOUROS.....	82
FIGURA 2.31 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM	85
FIGURA 2.32 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM	86
FIGURA 2.33 - MAPA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	94
FIGURA 2.34 - CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME DA BACIA HIDRÁULICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	96
FIGURA 2.35 - TEMPERATURAS MENSAIS MÉDIAS, MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS.....	97
FIGURA 2.36 - UMIDADE RELATIVA MÉDIA	98
FIGURA 2.37 - INSOLAÇÃO TOTAL MÉDIA MENSAL.....	99
FIGURA 2.38 - NEBULOSIDADE	99
FIGURA 2.39- EVAPORAÇÃO TOTAL MÉDIA MENSAL.....	100
FIGURA 2.40 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGER PARA BACIA HIDROGRÁFICA	101
FIGURA 2.41 - CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA – MÉTODO DAS ISOIETAS	103
FIGURA 2.42 - BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - POLÍGONOS DE THIESSEN.....	104
FIGURA 2.43 - O REGIME DE CHUVAS NO POSTO MUCAMBO	106
FIGURA 2.44 - O REGIME DE CHUVAS NA BACIA POR THIESSEN	106
FIGURA 2.45 - ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO NO NORDESTE SETENTRIONAL.....	107
FIGURA 2.46 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS - LOG-NORMAL	109
FIGURA 2.47 - CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA.....	111
FIGURA 2.48 - CHUVA BALANCEADA PARA TR=1.000 E TR=10.000 ANOS	112
FIGURA 2.50 - LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E DO POSTO FLUVIOMÉTRICO DE MORAÚJO	116
FIGURA 2.51 - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA PSEUDO-HISTÓRICA AFLUENTE AO RESERVATÓRIO..	118
FIGURA 2.52 - MAPA PEDOLÓGICO - BARRAGEM FRECHEIRINHA	125
FIGURA 2.53 - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLO DA BACIA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	125
FIGURA 2.54 - HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO DO “SOIL CONSERVATION SERVICE”	126

FIGURA 2.55 - CURVA DE PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO.....	129
FIGURA 3.1 - ARRANJO GERAL E LOCALIZAÇÃO DAS OBRAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	134
FIGURA 3.2 - SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM.....	135
FIGURA 3.3 - PLANTA DO VERTEDOURO	142
FIGURA 3.4 - CORTE LONGITUDINAL DO VERTEDOURO E DETALHE DO PERFIL CREAGER	142
FIGURA 3.5 - GRÁFICO COTA X VAZÃO DA TOMADA D'ÁGUA	148
FIGURA 5.1 - CRONOGRAMA FÍSICO PARA A IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	168

LISTA DE QUADROS

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - DADOS FÍSICOS DA BACIA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	27
QUADRO 2.2 - RELAÇÃO DE MARCOS NO EIXO PRINCIPAL DA BARRAGEM.....	40
QUADRO 2.3 - COMPRIMENTO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS AOS EIXOS DOS DIQUES	43
QUADRO 2.4 - RESUMO DOS LEVANTAMENTOS DAS JAZIDAS.....	48
QUADRO 2.5 – LOCALIZAÇÃO, VOLUMES E DISTÂNCIAS DOS AREAIS.....	49
QUADRO 2.6 - CADERNETA DE CAMPO DA PEDREIRA 01	49
QUADRO 2.7 - PRINCIPAIS SISMOS OCORRIDOS NO NOROESTE CEARENSE – MAGNITUDE >3,0 MB.....	53
QUADRO 2.8 - EIXOS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - SONDAgens À PERCUSSÃO EXECUTADAS – SPT	77
QUADRO 2.9 - EIXOS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - SONDAgens À TRADO EXECUTADAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
QUADRO 2.10- EIXOS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - SONDAgens MISTAS EXECUTADAS ...	78
QUADRO 2.11 - EIXOS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA LUGEON	79
QUADRO 2.12 - EIXOS DOS SANGRADOUROS FRECHEIRINHA – SONDAgens MISTAS.....	80
QUADRO 2.13 - EIXOS DOS SANGRADOUROS FRECHEIRINHA – ENSAIOS DE CAMPO (LUGEON)	81
QUADRO 2.14 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E VOLUMÉTRICAS DAS JAZIDAS ESTUDADAS	84
QUADRO 2.15 – HIERARQUIZAÇÃO DAS JAZIDAS A SEREM UTILIZADAS.....	87
QUADRO 2.16 – TIPOS E QUANTIDADES DOS ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO E NA JAZIDA	88
QUADRO 2.17 – RESUMO DOS ENSAIOS DAS AMOSTRA DOS MATERIAIS DAS JAZIDAS ... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
QUADRO 2.18 – RESUMO DOS ENSAIOS DAS SONDAgens SPP NO VERTEDOURO	90
QUADRO 2.19 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA VARIÁVEL...	91
QUADRO 2.20 – LOCALIZAÇÃO, VOLUMES E DISTÂNCIAS DOS AREAIS.....	92
QUADRO 2.21 - DADOS FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	93
QUADRO 2.22 - DADOS FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	95
QUADRO 2.23 - TEMPERATURAS MENSAS MÉDIAS, MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS (°C)	97
QUADRO 2.24 - UMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL	97
QUADRO 2.25 - INSOLAÇÃO MÉDIA MENSAL	98
QUADRO 2.26 - NEBULOSIDADE	99
QUADRO 2.27- EVAPORAÇÃO TOTAL MÉDIA MENSAL.....	100

QUADRO 2.28 - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	102
QUADRO 2.29 - CÁLCULO DA INFLUÊNCIA DOS POSTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM.....	105
QUADRO 2.30 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL DOS POSTOS E DA BACIA – MÉTODO DE THIESSEN.....	105
QUADRO 2.31 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA.....	108
QUADRO 2.32 - DISTRIBUIÇÕES DE MELHOR AJUSTE PELA ESTATÍSTICA ANDERSON-DARLING	109
QUADRO 2.33 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS INTENSAS	110
QUADRO 2.34 - TRANSFORMAÇÃO DA CHUVA MÁXIMA E INTENSA PONTUAL EM ESPACIAL .	111
QUADRO 2.35 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DA CHUVA A CADA INTERVALO DE 1 HORA.....	112
QUADRO 2.36 - CHUVA DE PROJETO BALANCEADA – TR= 1.000 ANOS E TR=10.000 ANOS	113
QUADRO 2.37 - CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS.....	114
QUADRO 2.38 - SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (M ³ /S) - POSTO DE MORAÚJO	115
QUADRO 2.39 - CHUVAS MENSAIS DO POSTO PLUVIOMÉTRICO FRECHEIRINHA (340015)	117
QUADRO 2.40 - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA GERADA AFLUENTE AO RESERVATÓRIO EM M ³ /S.....	119
QUADRO 2.41 - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA GERADA AFLUENTE AO RESERVATÓRIO FRECHEIRINHA	122
QUADRO 2.42 - ESTIMATIVA DE CUSTO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA PARA DIFERENTES ALTURAS	122
QUADRO 2.43 - CÁLCULO DO CUSTO DO VOLUME REGULARIZADO.....	123
QUADRO 2.44 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA TR=1.000 ANOS.....	128
QUADRO 2.45 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA TR=10.000 ANOS.....	128
QUADRO 2.46 - DETERMINAÇÃO DA TAXA DE ASSOREAMENTO (Φ)	131
QUADRO 3.1 - CURVA-CHAVE DA TOMADA D'ÁGUA	148

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório é o **Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto**, que compõe um dos produtos da **Etapa C1 - Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem** inserido na **Fase C - Projeto Executivo da Barragem**, objeto do **Contrato nº 03/SRH 2017 - Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha**, no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, firmado entre a SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a Empresa TPF Engenharia Ltda, vencedora do processo licitatório previsto no Edital de Concorrência Pública Nº 20160001/SRH/CCC.

A finalidade deste relatório é apresentação à SRH do Memorial Descritivo do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha.

1.1 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A bacia do rio Coreaú, situada na porção noroeste do estado do Ceará, com uma área total de 10.634 km², foi objeto de estudos para o aproveitamento de seus recursos hídricos, que tiveram início na década de 70. Naquela ocasião a bacia possuía apenas duas barragens de grande porte: Tucunduba (Ano 1919 - 40,2 hm³) e Várzea da Volta (Ano 1919 - 12,5 hm³).

No final da década de 80 foram construídos os açudes Martinópolis (Ano 1984 - 23,2 hm³) e Diamante (Ano 1988 - 13,2 hm³), porém a bacia continuava com um grande vazão hídrico. Dentro deste cenário, o DNOCS contratou a empresa SIRAC - Serviços Integrados de Assessoria e Consultoria Ltda para desenvolver o Estudo de Viabilidade do Vale do Coreaú, cujas conclusões reforçaram a necessidade de implantação de reservatórios na referida bacia. Nesse mesmo estudo, foi identificado um boqueirão no riacho Caiçara que se revelava adequado para a implantação de um barramento com potencial de acumular cerca de 100 hm³.

Em dezembro de 1988 a SIRAC apresentou ao DNOCS a documentação técnica referente ao “Anteprojeto da Barragem Frecheirinha”, no riacho Caiçara, com uma capacidade de 85 hm³ e uma vazão de regularização de 0,62 m³/s (90% de garantia) e

0,50 m³/s (95% de garantia), objetivando a irrigação e o abastecimento de água para as cidades circunvizinhas.

Atualmente a bacia apresenta um total de nove reservatórios gerenciados pela COGERH. Complementando os quatro reservatórios citados anteriormente, temos ainda as barragens Trapiá III (Ano 1961 – 5,5 hm³), Premuoca (Ano 1981 – 5,2 hm³), Angicos (Ano 1998 – 56,0 hm³), Gangorra (Ano 1999 – 62,5 hm³) e Itaúna (Ano 2001 – 77,5 hm³).

O vale do riacho Caiçara, dentro da bacia do rio Coreaú, tem esta denominação até a confluência com o rio Ubajara, a partir de onde passa a ser denominado de rio Coreaú. Nasce na encosta da serra da Ibiapaba, no município de Ibiapina, atinge o litoral após percorrer 130 km desde sua nascente.

O anteprojeto da SIRAC serviu de subsídio aos estudos atuais pois foram realizados novos Estudos Básicos, novo Estudo de Alternativas e novo Anteprojeto e, a partir deste, é que foi desenvolvido o referido Projeto Executivo.

O objetivo deste barramento, que era de aproveitar as águas oriundas da represa, em irrigação das manchas de solo existentes a jusante desta, hoje é de promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Coreaú, examinando detalhadamente o atendimento às demandas de águas das regiões de influência. Também tem como objetivo o aproveitamento racional da água acumulada neste reservatório com a finalidade de abastecimento humano e animal, lazer, piscicultura, e, como objetivo secundário, a irrigação.

1.2 - FICHA TÉCNICA

A seguir é mostrado a Ficha Técnica do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha onde se discrimina os principais elementos técnicos.

FICHA TÉCNICA

Identificação

Denominação: Barragem Frecheirinha
Estado: Ceará
Município: Frecheirinha
Localidade: Caiçara de Cima
Coordenadas UTM: Leste 302056E / Norte 9582167N
Bacia: Coreaú
Rio barrado: Rio Caiçara
Proprietário: Governo do Estado de Ceará/SRH
Autor do projeto: TPF Engenharia
Data do projeto: Agosto/2020

Bacia Hidrográfica

Área: 198,5 km²
Perímetro da bacia hidrográfica: 82,1 km
Comprimento do rio: 28,9 km
Cota do talvegue a montante: 900 m
Cota do talvegue a jusante: 120 m
Declividade média do rio: 26,99 m/km

Características do Reservatório

Área da bacia hidráulica (cota 131,00m): 1101,546 ha
Volume hidráulico armazenável (cota 131,00 m): 82,177 hm³
Volume morto do reservatório / mínimo operacional (cota 116,00m): 2,849 hm³
Volume útil p/ vazão sanitária (cota 114,36 a 116,00): 1,538 hm³
Volume médio afluente anual: 42,2 hm³/ano
Vazão Regularizada com 90% de Garantia: 20,67 hm³/ano
Vazão Regularizada com 90% de Garantia: 0,655 m³/s
Vazão afluente max. de projeto/vazão pico (TR=1.000anos): 912,21 m³/s

Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos).....	111,96 m ³ /s
Vazão afluyente max maximorum/vazão pico (TR=10.000anos)....	1.118,10 m ³ /s
Vazão max. maximorum amortecida (TR=10.000anos).....	147,42 m ³ /s
Nível d'água max. (TR=1.000anos):	131,92 m
Nível d'água max. maximorum (TR=10.000anos):.....	132,11 m

Barragem de Terra

Tipo:	Seção Mista (Terra/Enrocamento)
Localização:	estaca 1+7,50 a 31+0,50 m
Altura máxima do maciço:.....	27,00 m
Largura do coroamento:.....	7,00 m
Extensão pelo coroamento:	593,00 m
Cota do coroamento:	134,00 m
Revanche:	3,00 m
Talude de Montante:	1,0(V):2,5(H)
Talude de Jusante:	1,0(V):2,0(H)

Diques

Tipo:	Seção Homogênea de Terra
Quantidade:	03 unidades
Altura máxima (dique 01):.....	4,00 m
Extensão pelo coroamento (dique 01):	192,10 m
Altura máxima (dique 02):.....	3,30 m
Extensão pelo coroamento (dique 02):	50,38 m
Altura máxima (dique 03):.....	3,10 m
Extensão pelo coroamento (dique 03):	54,80 m
Largura do coroamento:.....	4,00 m
Cota do coroamento:	134,00 m
Talude de Montante (diques):	1,0(V):2,0(H)
Talude de Jusante (diques):	1,0(V):2,0(H)

Vertedouro

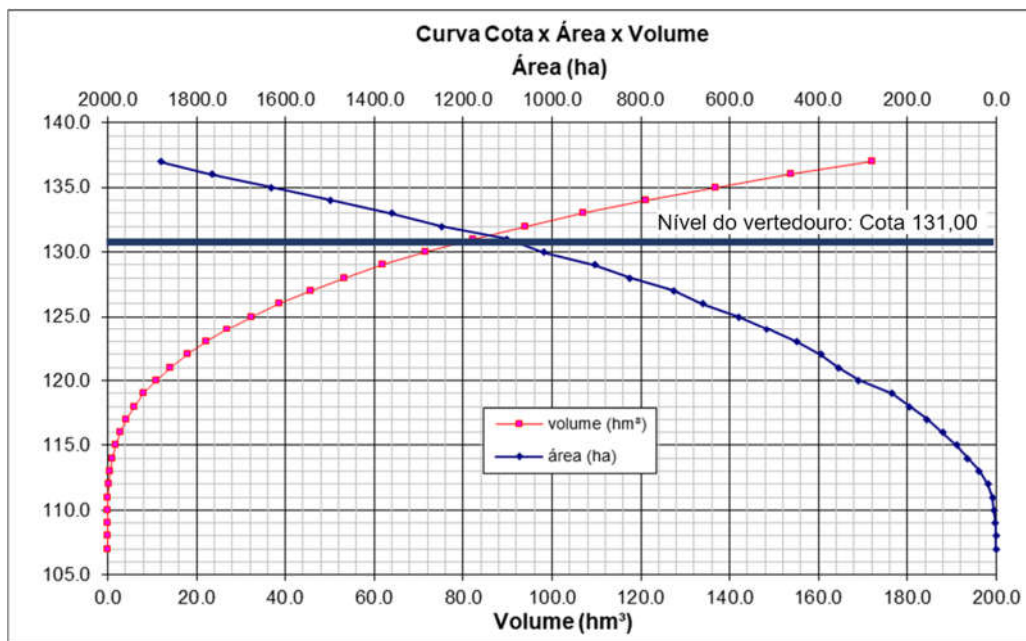
Tipo: creager, com canal de restituição revestido, muros e bacia de dissipação	
Localização (eixo da barragem):.....	Estaca 54+7,28 m
Comprimento total:.....	489,50 m

Cota do canal de aproximação (escavado em rocha):	129,00 m
Cota da soleira:.....	131,00 m
Lâmina máxima (TR=10.000anos):.....	1,11 m
Cota do canal de restituição (muros laterais e fundo revestido:.....	variável
Material creager: concreto massa / canal de restituição e muros: concreto armado	
Largura do creager:.....	60,00 m
Altura do total do creager:.....	6,00 m
Altura do paramento de montante (útil):.....	2,00 m

Tomada de água

Tipo:	tubo de aço carbono ASTM A-36
Localização (eixo da barragem):.....	Estaca 29+10,00 m (ombreira direita)
Revestimento:.....	envelopado em concreto e junta fungebond
Diâmetro:	1200 mm
Comprimento da galeria:.....	115,00 m
Cota do eixo da tubulação:	114,36 m
Controle de montante:	
Registro de gaveta flageado com volante (FoFo):	1200 mm
Controle de jusante:	
Válvula borboleta flangeada (FoFo):.....	1200 mm
Válvula dispersora (Aço):.....	1200 mm

Cota x Área x Volume		
cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm³)
107,000	0,000	0,000
108,000	0,536	0,003
109,000	1,155	0,011
110,000	5,194	0,043
111,000	8,424	0,111
112,000	18,618	0,246
113,000	37,608	0,527
114,000	63,891	1,035
115,000	89,253	1,801
116,000	120,473	2,849
117,000	156,016	4,232
118,000	194,933	5,986
119,000	234,302	8,133
120,000	309,193	10,850
121,000	355,168	14,172
122,000	394,369	17,919
123,000	448,692	22,135
124,000	516,515	26,961
125,000	580,425	32,446
126,000	660,436	38,650
127,000	725,851	45,581
128,000	823,881	53,330
129,000	903,362	61,966
130,000	1018,610	71,576
131,000	1101,546	82,177
132,000	1248,117	93,925
133,000	1361,456	106,973
134,000	1498,665	121,274
135,000	1631,253	136,923
136,000	1766,142	153,910

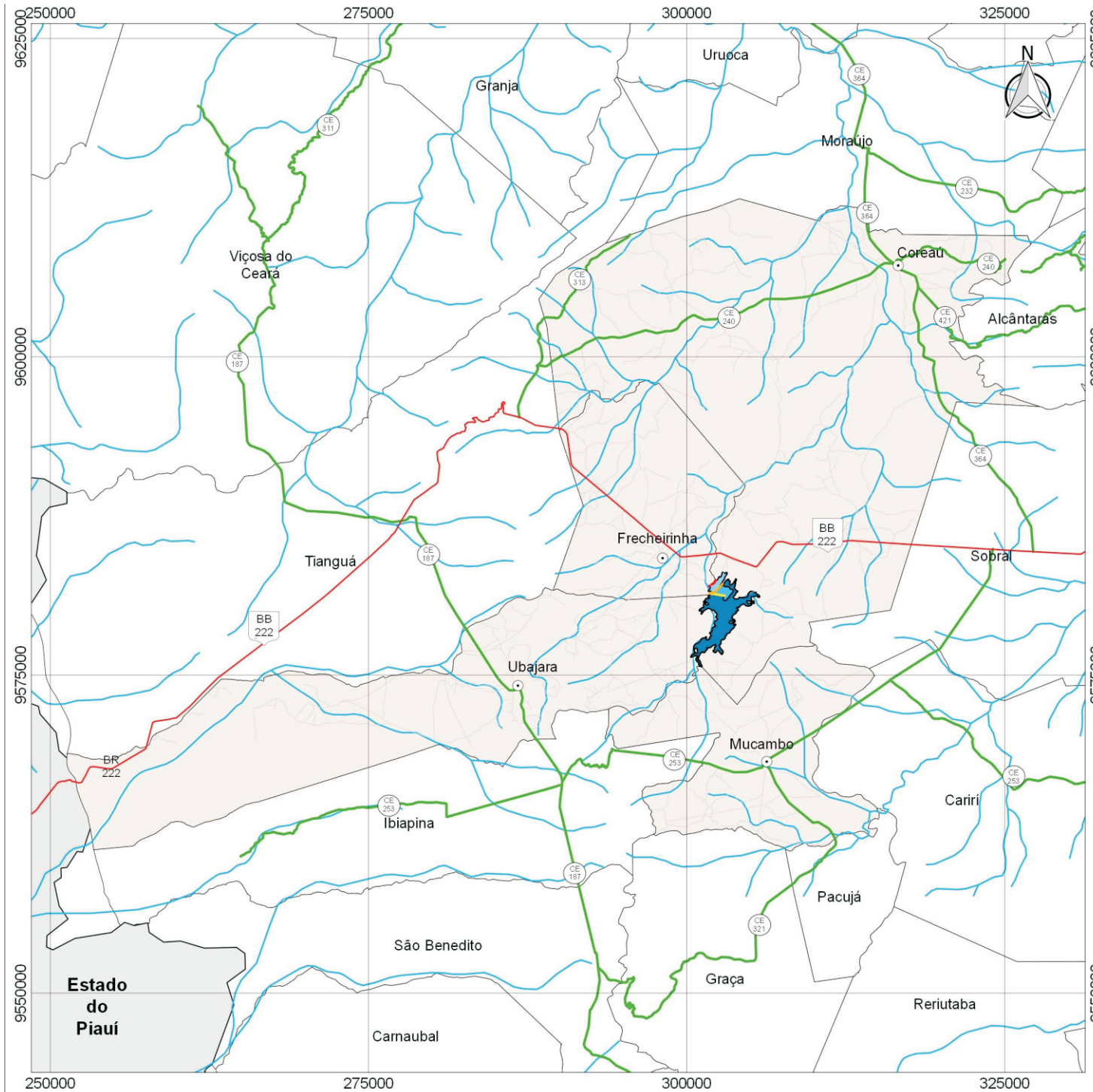


1.3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

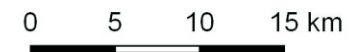
A Barragem Frecheirinha será formada pelo barramento do riacho Caiçaras, afluente do rio Coreaú, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Frecheirinha, Coreaú, Ubajara e Mucambo. A barragem fechará o boqueirão existente nas imediações da localidade de Caiçara de Cima, no município de Frecheirinha, distando 4,2 km da sede deste município.

Desde Fortaleza o acesso a área do empreendimento pode ser feito através da BR-222, passando pelas cidades de Caucaia, Croatá, São Luís do Curu, Umirim, Itapajé, Irauçuba, Forquilha, Sobral até atingir a cidade de Frecheirinha, 1º acesso, percorrendo-se cerca de 290,0 km. A partir daí, por ruas revestidas por asfalto e pedras e depois por estrada de terra percorre-se 4,2 km até a localidade de Caiçara de Cima, local do eixo do barramento.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Coreaú, Sobral e São Benedito, a partir de onde têm-se que direcionar para a BR-222 até atingir a cidade de Frecheirinha. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado na **Figura 1.1**.



- Convenções**
- Sede Municipal
 - Hidrografia
 - Rodovias Federais
 - Rodovias Estaduais
 - Rodovias Municipais
 - Limites Municipais
 - Estado do Piauí
 - Eixo 01
 - Eixo 02
 - Eixo 03
 - Área Espelho d'Água (Eixo 01)
 - Área Espelho d'Água (Eixo 02)
 - Área Espelho d'Água (Eixo 03)
- Legenda**
- Área de Influência Indireta



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 Secretaria dos Recursos Hídricos

Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha
 Estudo de Viabilidade Ambiental

Figura 1.1: Mapa de localização e acesso da Área de abrangência do Estudo

SISTEMA DE COORDENADAS:
 SIRGAS 2000 UTM Zona 24S
 PROJEÇÃO: Transverse Mercator
 DATUM: SIRGAS 2000

ESCALA	1 : 300.000
DATA	JUNHO/2020

2 – SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2.1 - CARTOGRAFIA

2.1.1 - BASE CARTOGRÁFICA

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica. A carta topográfica utilizada foi: Frecheirinha: nº SA-24-Y-C-VI.

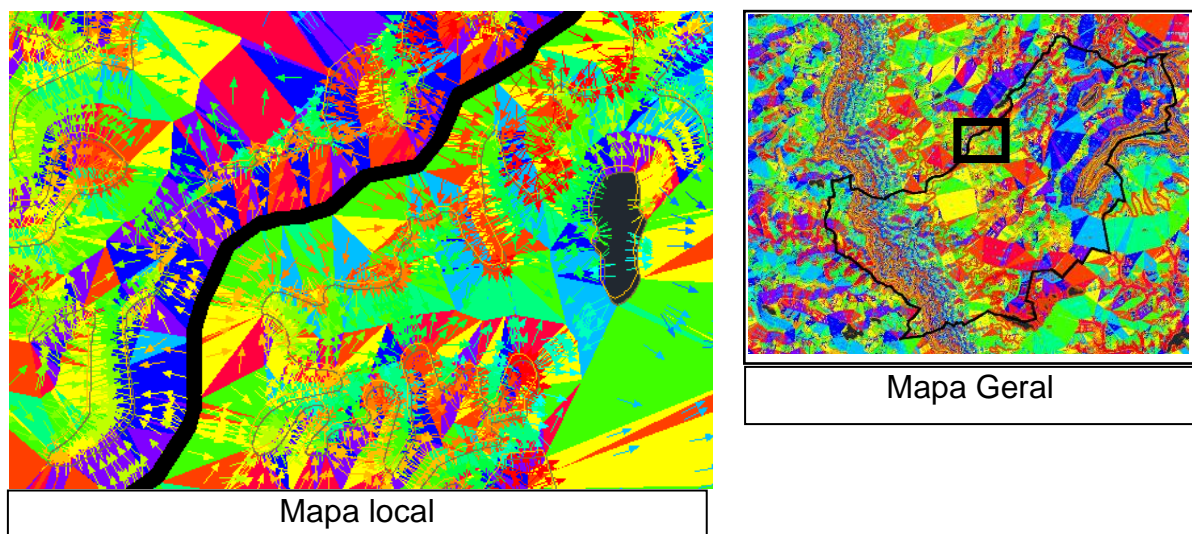
Esta base cartográfica serviu para identificação das alternativas de localização do eixo da Barragem e também permitiu o inventário das áreas dos possíveis reservatórios, identificando-se a rede de rodovias existente, a infraestrutura existente: estradas, redes elétricas, açudes e escolas, as ocorrências de materiais construtivos, núcleos urbanos, o sistema de drenagem principal e pontos de possíveis fugas.

Empregando o AUTOCAD CIVIL 3D, foi gerado um modelo digital do terreno - MDT da área de estudo, com curvas altimétricas interpoladas a cada 10 metros, permitindo o traçado automático dos divisores de água e vetores de declividade do terreno local.

O mapeamento das regiões de declividades do terreno propiciou uma maior precisão para a delimitação da bacia de contribuição, como pode-se observar na **Figura 2.1** a seguir, que apresenta o exemplo de um determinado local do contorno da bacia, no qual é possível verificar o perfeito traçado dos limites sobre os divisores de declividade gerado automaticamente pelo AUTOCAD CIVIL 3D.

Além da delimitação topográfica, a bacia foi aferida e ajustada através da base de hidrografia unifilar disponibilizada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Na **Figura 2.2** é apresentado o traçado da bacia, em conformidade com a hidrografia unifilar e na **Figura 2.3** é mostrado o mapa de declividades da área de estudo em conformidade com os limites hidrográficos estabelecidos.

Figura 2.1 - Exemplo da Metodologia Utilizada para Delimitação da Bacia Hidrográfica

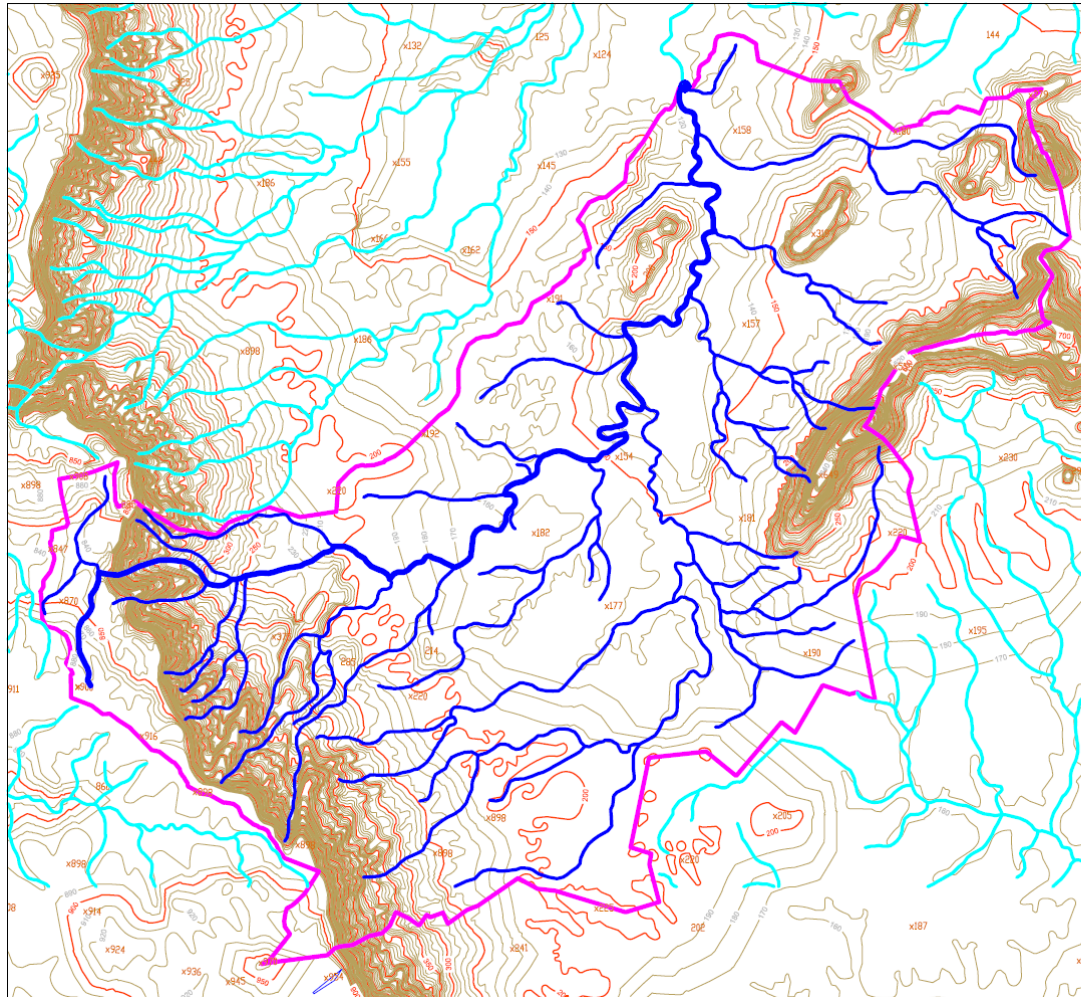


No **Quadro 2.1** a seguir é apresentado um resumo das características físicas da bacia.





Quadro 2.1 - Dados Físicos da Bacia da Barragem Frecheirinha

Área da bacia Hidrográfica (Km ²)	Perímetro da bacia Hidrográfica (Km)	Comprimento do rio (Km)	Cota do Talvegue à montante (m)	Cota do Talvegue à jusante (m)
198,5	82,1	28,9	900	120

Figura 2.2 - Bacia Hidrográfica – Rede de Drenagem



LEGENDA:

-  Contorno da bacia hidrográfica
-  Rede drenagem da bacia
-  Rede drenagem externo a bacia
-  Curvas de nível

Dados da Bacia:

Área: 198,5 km²
 Perímetro: 82,1 km
 Comprimento talvegue: 28,9 km

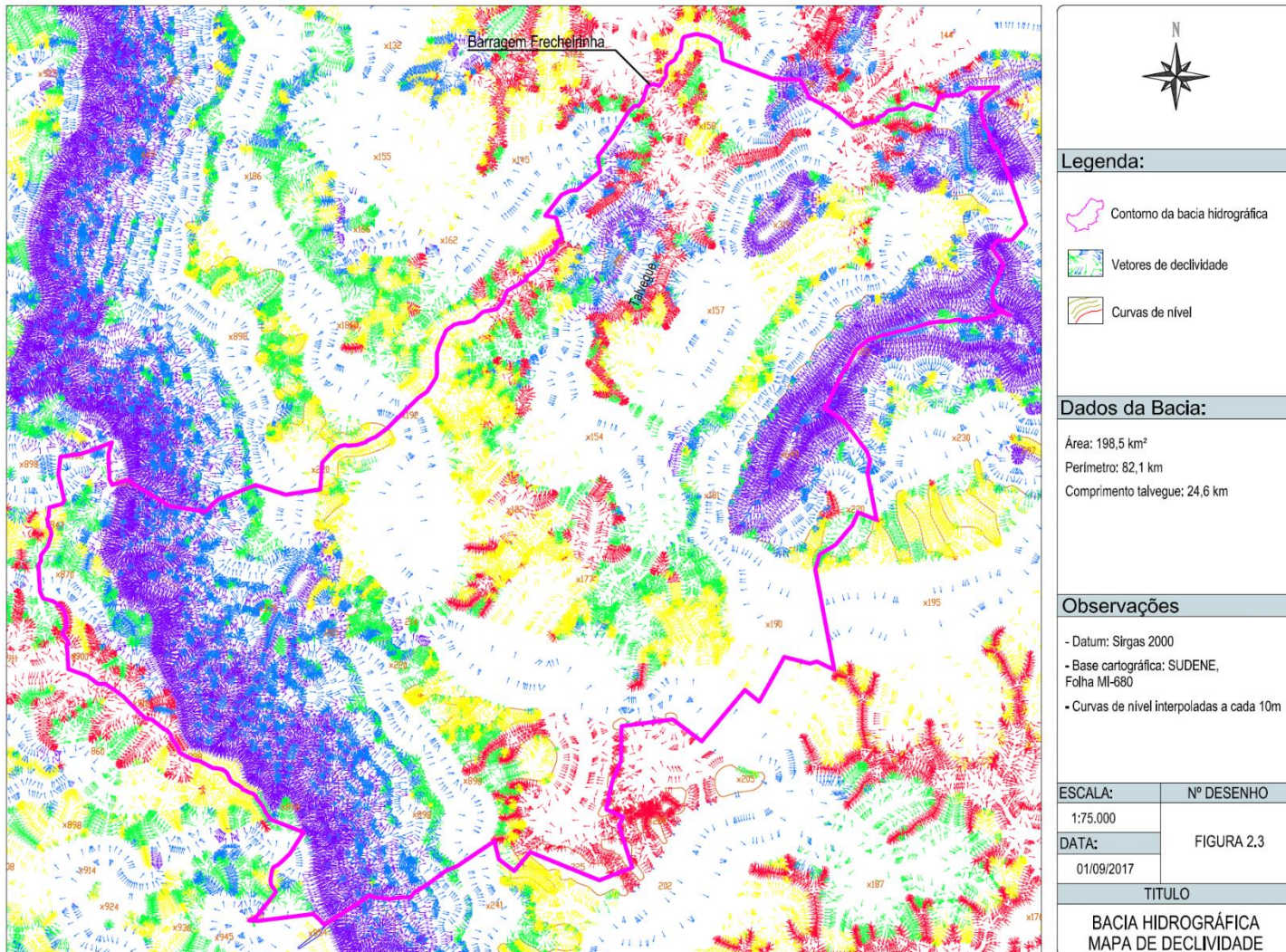
Observações

Datum: Sirgas 2000
 Base cartográfica: SUDENE,
 Folha MJ-680
 Base hidrográfica: CPRM

ESCALA:	Nº DESENHO
1:75.000	FIGURA 2.2
DATA:	
01/09/2017	

TITULO	
BACIA HIDROGRÁFICA REDE DE DRENAGEM	

Figura 2.3 - Bacia Hidrográfica – Mapa de Declividade



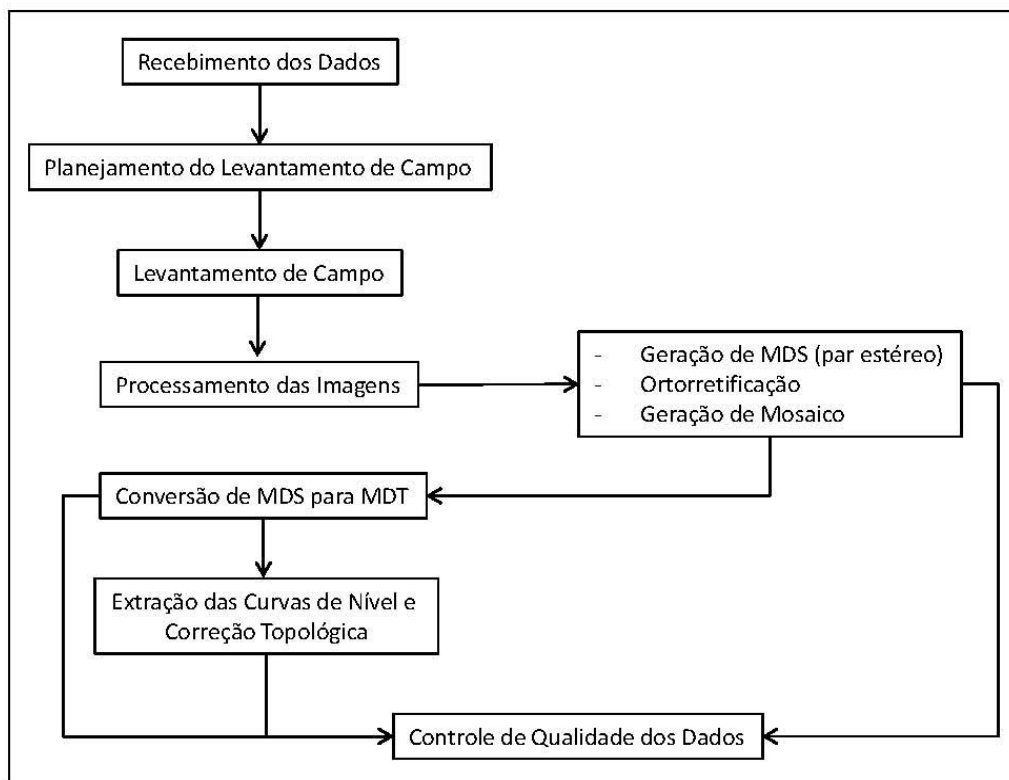
2.1.2 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Para processamento e geração de Modelo Digital de Elevação com geração Curvas de Nível e Interpretação a partir de imagens de alta resolução do satélite KOMPSAT-3A foi contratada a empresa com expertise no assunto: THREEETEK - Soluções em Geomática.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas quatro cenas do satélite KOMPSAT-3A, adquiridas em 30/07/2017, dois pares estéreos - todas elas com quatro bandas multiespectrais de quarenta centímetros de resolução espacial, no formato 11 bits, DATUM WGS 1984.

Na **Figura 2.4** é possível visualizar o fluxograma com o detalhamento da metodologia.

Figura 2.4 - Fluxograma com o Detalhamento da Metodologia Adotada



No início dos trabalhos de coleta de dados de campo foi elaborada a logística com a seleção das áreas de coleta dos pontos de apoio de campo e elaboração dos seus respectivos croquis de localização.

O levantamento de campo realizado englobou as seguintes atividades:

- a) Medição dos pontos materializados para servir de apoio à medição dos pontos objetos. Foram utilizados receptores GPS geodésico;
- b) Medição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro dos pontos de controle para apoio terrestre do mapeamento por imagens, com receptores GPS geodésico e topográfico;
- c) Processamento dos dados da medição GPS, com avaliação dos resultados.

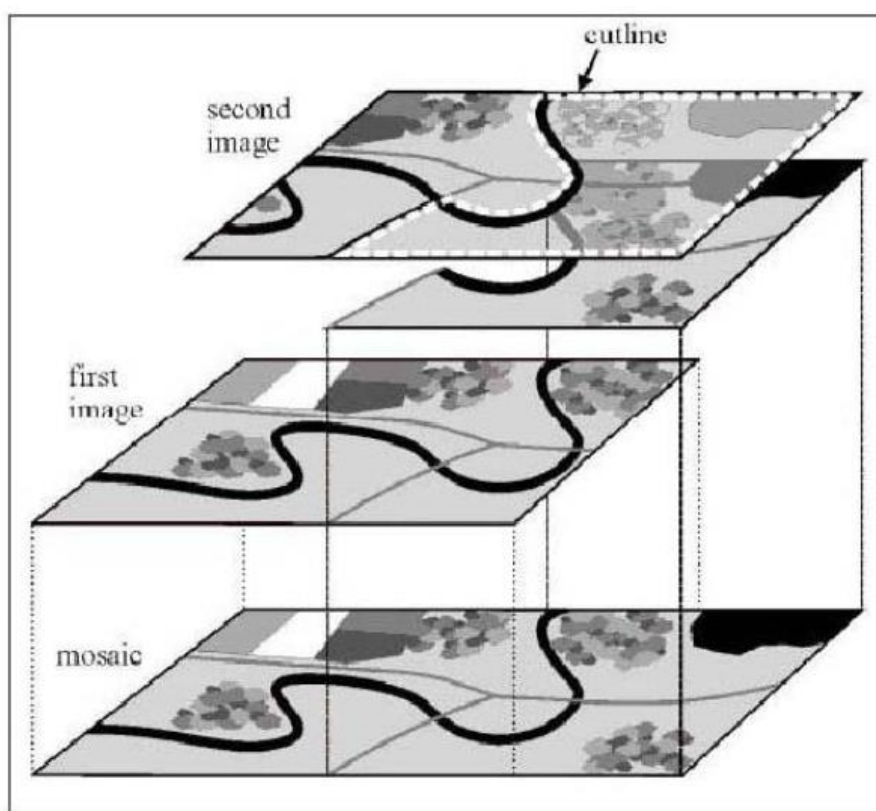
Dando sequência aos trabalhos foi executado o Processamento das Imagens e Geração de MDS, com a realização dos seguintes procedimentos:

- a) Geração das Composições Coloridas - Foram geradas quatro composições coloridas com informações de órbita do satélite e importação dos RPCs (Coeficientes Racionais Polinomiais). Neste procedimento foram consideradas as bandas RGB e NIR (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo), todas agrupadas em um único arquivo.
- b) Ortorretificação das Imagens e Geração de MDS - Foram realizadas as seguintes etapas: coleta de pontos de ligação (Tie Points - TPs); coletas de pontos de controle (GCPs), geração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e ortorretificação das imagens.
- c) Geração de mosaico de cenas adjacentes - o mosaico de imagens consiste na junção de duas ou mais imagens com sobreposição para a criação de uma única imagem uniforme, ver esquema da **Figura 2.5**. Basicamente, trata-se de criar uma "colcha de retalhos" com diversas imagens e, então, fazer desaparecer as junções através de procedimentos de equalização e mistura de pixels. Para desaparecer as junções foram adotados os seguintes procedimentos:
 - Para que o mosaico pareça uma única imagem, ao invés de uma colagem, é importante que as imagens se encaixem bem. Os melhores resultados são sempre obtidos com imagens ortorretificadas. Usando-se um modelo matemático rigoroso assegura-se o melhor encaixe não só

das imagens individuais, mas também das imagens reunidas como um todo.

- A primeira etapa da geração do mosaico consistiu na elaboração das linhas de corte (vetor que delimita a área da imagem a ser inserida no mosaico), priorizando as áreas de menores deslocamentos entre as imagens. Na etapa seguinte, foram coletadas amostras na área de sobreposição entre as imagens de forma a equilibrar as cores do mosaico, tornando-o homogêneo.

Figura 2.5 - Esquema De Geração De Mosaico De Imagens



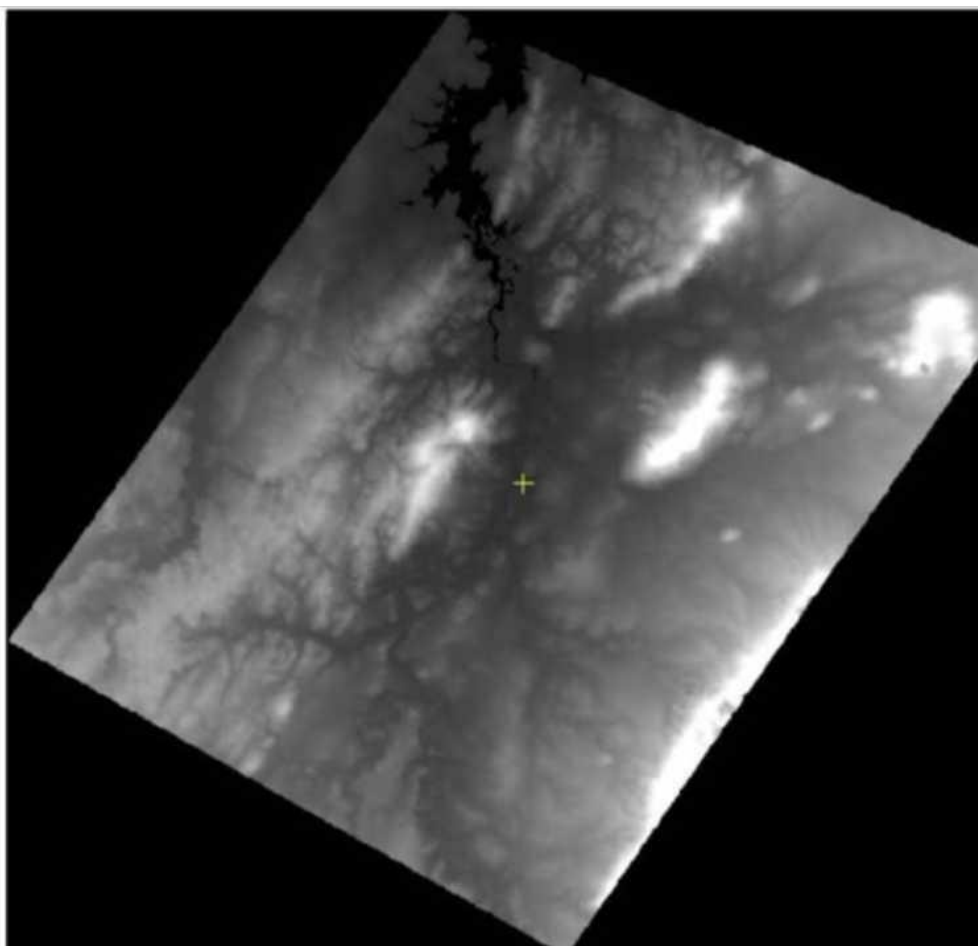
- d) Processamentos finais das imagens - ao término da geração do mosaico foram realizados os procedimentos de realce de contraste e conversão para o formato Geo TIFF.

Na sequência foi feita a Conversão Automática de MDS para MDT e, de forma a reduzir ao máximo a altura de feições elevadas, tais como edificações e copa das

árvores, foi aplicado sobre o MDS gerado um algoritmo interpolador específico, sendo que o algoritmo considera:

- a) A dimensão em pixels dos objetos a serem removidos;
- b) O limite de declividade no qual os objetos são tratados como feições no terreno e, portanto, não são removidos;
- c) O tamanho, em pixels, dos filtros que serão utilizados na interpolação para reduzir as falhas geradas pela remoção de objetos;
- d) O tamanho, em pixels, que serão utilizados no filtro de mediana, aplicado na suavização final do produto final, ver **Figura 2.6**.

Figura 2.6 - MDT Gerado a Partir da Conversão Automática do MDS



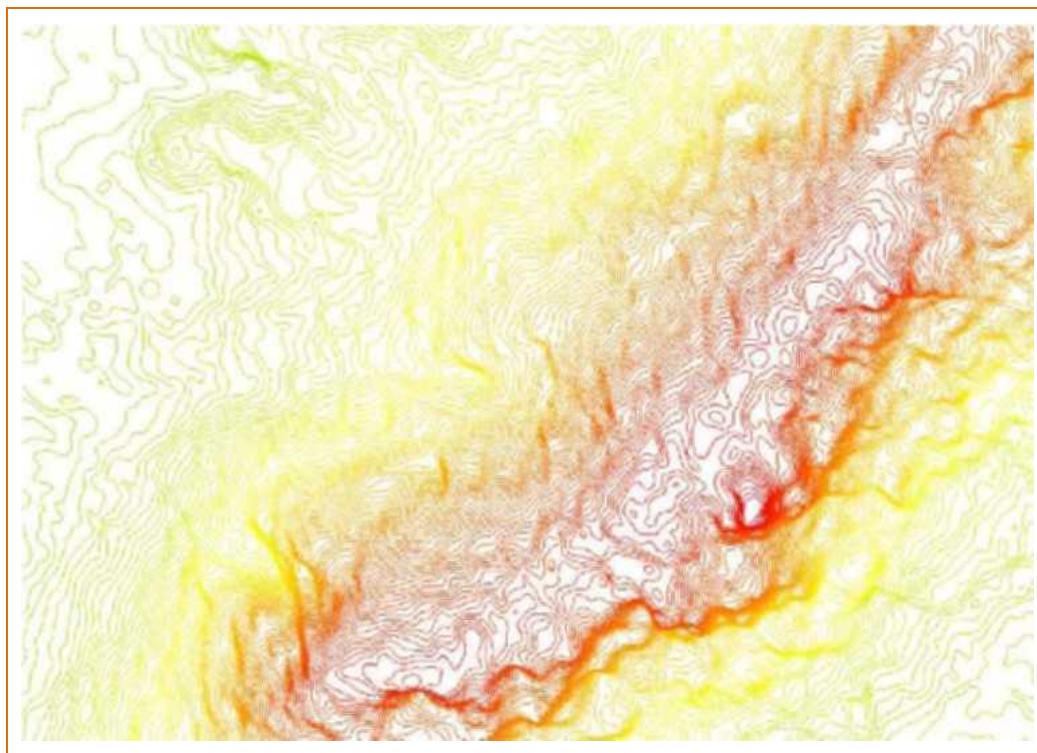
Para completar o trabalho foi feita a Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível, automaticamente, a cada dois metros de altura, com base no MDT

gerado. Alguns ruídos vetorizados automaticamente foram excluídos do arquivo vetorial (Shapefile). As linhas sofreram um processo automático de suavização e, posteriormente, foram submetidas ao processo de correção topológica, conforme as seguintes regras:

- Não devem existir sobreposição de linhas;
- Não devem existir interseção de linhas;
- Não devem existir quebras ao longo das linhas;
- Linhas de mesma cota devem estar conectadas;
- Não devem existir linhas duplicadas;
- Cada linha deve ser uma única feição.

O resultado final está apresentado na **Figura 2.7** a seguir.

Figura 2.7 - Trecho de Curvas de Nível extraídas a partir do MDT gerado



2.1.3 - CONTROLE DE QUALIDADE DOS ERROS

Para verificação da ortorretificação foram analisados os Erros Médios Residuais (RMS) dos pontos coletados em campo através de DGPS.

No mosaico final, foi realizada uma verificação para assegurar que não houve desequilíbrio de cores e deslocamentos entre as cenas que o compõem.

Nas curvas de nível, foram realizadas as etapas de validação topológica, conforme regras mencionadas anteriormente.

Para avaliação e validação da cota altimétrica do MDT gerado, foram utilizados pontos levantados em campo por DGPS não aplicados na geração dos produtos e o relatório de Erros Médios Residuais que pode ser verificado no anexo apresentado no Relatório de Cartografia.

2.2 - TOPOGRAFIA

2.2.1 - METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

Os serviços de topografia executados na área da barragem Frecheirinha seguiram as orientações preconizadas nos termos de referência e abrangeram os seguintes trabalhos:

- Implantação de **8 marcos** de apoio em concreto;
- Locação e abertura de picadas do eixo da Barragem Principal, eixos das barragens auxiliares (diques 1, 2 e 3), eixo do sangradouro e canais de emboque e restituição;
- Georreferenciamento dos marcos de apoio para implantação do eixo barrável;
- Transporte de coordenadas e referencial vertical do nivelamento geométrico;
- Locação, nivelamento e contranivelamento geométrico do eixo barrável, com estaqueamento a cada 20,0m e levantamento de seções transversais com faixa de domínio de 200,00 metros para jusante e montante;
- Locação dos eixos e implantação de marcos, nivelamento e levantamento das seções transversais dos diques 1, 2 e 3;
- Locação dos eixos e implantação de marcos, nivelamento e levantamento das seções longitudinal e transversais dos sangadouros (1 e 2);

- Levantamento das bases e catenárias das linhas de transmissão da CHESF;
- Locação das Áreas de Empréstimo e Locação dos furos de sondagem;
- Cálculos e elaboração dos desenhos topográficos.

2.2.2 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os equipamentos utilizados em campo para o levantamento topográfico dos eixos, diques e região do sangradouro da Barragem Frecheirinha foram:

- GPS Geodésico de dupla frequência L1 e L2 – RTK, precisão horizontal 3mm + 0,5 ppm e vertical 3mm + 0,5 ppm.
- Estação Total – Modelo CTS 3005 W, com precisão angular de 5” e linear de 1mm, Marca TOPOCON.
- Nível Topográfico – Modelo AT-G6, com precisão 1,5mm/km, da marca TOPOCON.

2.2.3 - FORMA DE EXECUÇÃO

2.2.3.1 - Transporte de Coordenadas

Os serviços de levantamento topográfico tiveram início com a realização do transporte de coordenadas geográficas, através da utilização de GPS Geodésico de dupla frequência, L1 e L2, amarrados na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, seguido do transporte de nível através do Referencial de Nível do IBGE.

2.2.3.2 - Transporte de Nível

O Referencial de Nível RN 1655L do IBGE foi utilizado para implantar na superfície do terreno um referencial vertical do nivelamento geométrico a ser adotado na barragem, conforme **Figura 2.8** a seguir. Datum utilizado foi o SIRGAS 2000.

O relatório da estação geodésica pode ser observado na **Figura 2.9** enquanto o relatório de processamento pode ser visto na **Figura 2.10** sendo utilizado o método do Posicionamento por Ponto Preciso – PPP, apresentado na **Figura 2.11**, onde é possível ver o desvio padrão obtido nesta operação.

Figura 2.8 - Referência de Nível do IBGE para Transporte e Nivelamento da Barragem



Figura 2.9 - Relatório de Estação Geodésica



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1655L	Nome da Estação :	1655L	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	FRECHEIRINHA			UF :	CE
Última Visita:	03/09/2009	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	03° 45' 33" S	Altitude Ortométrica(m)	116,5999	Gravidade(mGal)	
Longitude	40° 48' 13" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)		Data Medição	0,09
Origem		Datum		Data Cálculo	Imbituba
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	04/02/1981		
Data Medição	03/09/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.584.286				
UTM(E)	299.699				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização
No canto da ponte sobre o rio Pau Branco; 90 m aquém do entroncamento para a cidade de Frecheirinha.
Descrição
Chapa de metal, medindo 6 cm de diâmetro, estampada RN 1655 L.

Figura 2.10 - Transporte de Coordenadas – Método: Posicionamento por Ponto Preciso – PPP

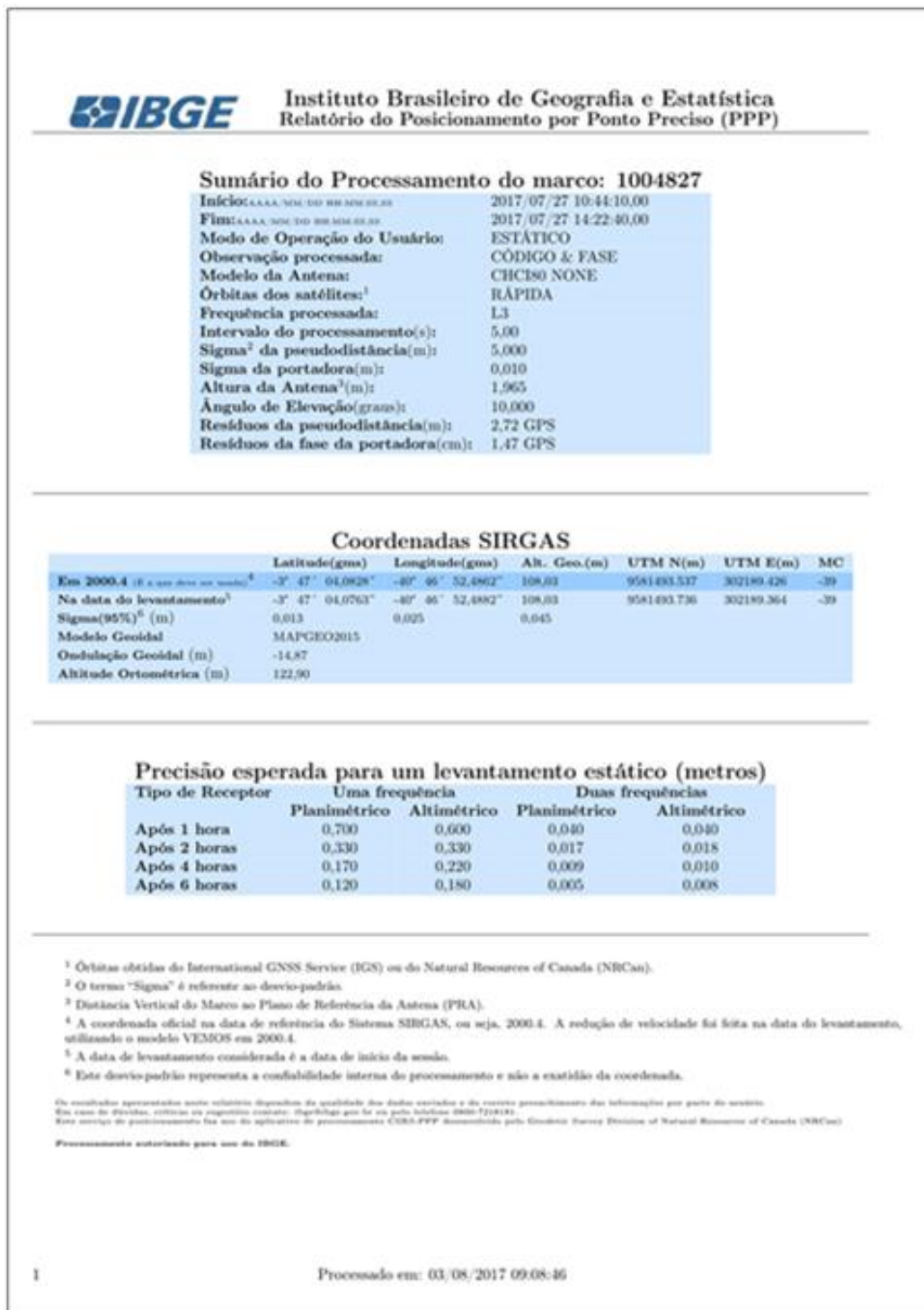
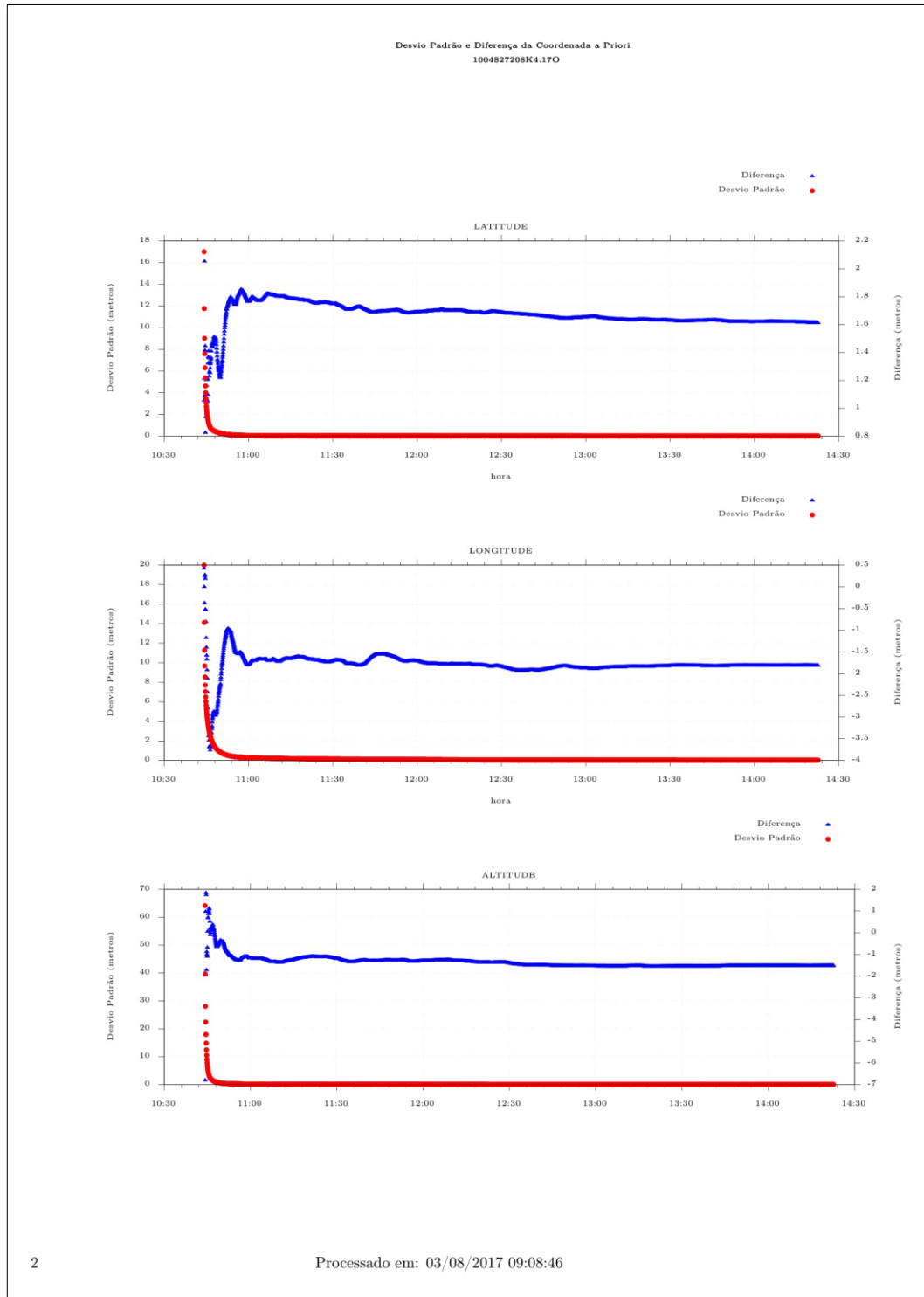


Figura 2.11 - Desvio padrão obtido pelo transporte de coordenadas através do método de Posicionamento Por Ponto Preciso – PPP



2.2.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL PRINCIPAL

Os levantamentos topográficos do eixo principal da barragem foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e contranivelamento e levantamento de seções transversais.

2.2.4.1 - Implantação de Marcos e Locação do Eixo

Em cada uma das ombreiras foram implantados marcos de concreto denominados M-1 (ponto 43) e M-2 (ponto 76), conforme apresentado na caderneta de campo do Relatório de Topografia. O **Quadro 2.2** a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:

Quadro 2.2 - Relação de Marcos no Eixo Principal da Barragem

Marco	Coordenadas UTM (m)		Cotas (m)
	Norte	Este	
M-1	9.581.970,36	301.780,60	138,39
M-2	9.582.422,08	302.278,55	134,49

O ponto de partida para locação do eixo principal da barragem, estaca E0 (00+00m), está localizado na ombreira esquerda e o ponto de chegada localizado na ombreira direita, onde finaliza na estaca E32 (640,00+00m), **totalizando 640,00 m** de comprimento.

Utilizando-se uma estação total, o eixo principal da barragem foi locado e materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados através de piquetes de madeira, com ponta cravada no terreno, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

2.2.4.2 - Nivelamento do Eixo da Barragem

O levantamento altimétrico do eixo principal da Barragem Frecheirinha foi realizado utilizando-se um Nível TOPCON– Modelo AT-G6, com precisão 1,5mm/km.

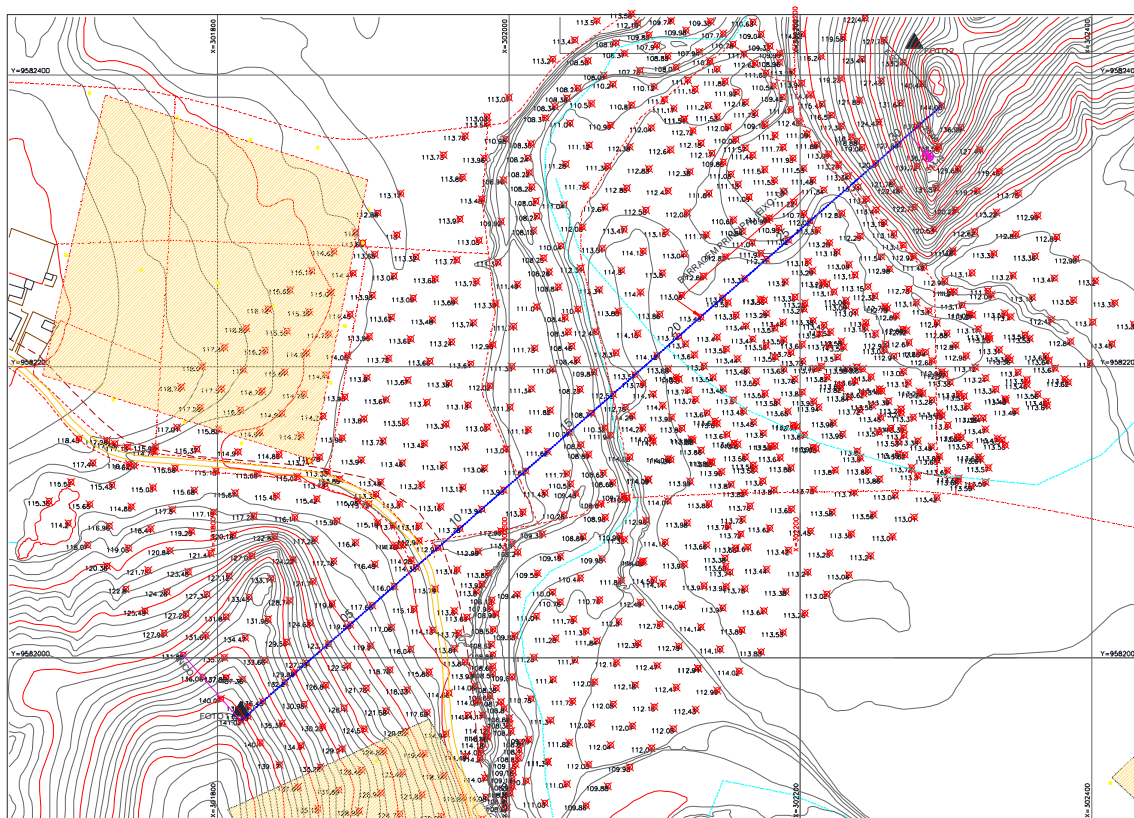
Foram niveladas e contra-niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 1655L (IBGE).

2.2.4.3 - Levantamento das Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo principal da barragem a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 200,0 metros perpendicularmente ao eixo, à montante e à jusante e se constituíram de pontos cotados a cada 20,0 metros, englobando também os pontos de destaque do relevo topográfico e **totalizaram 9.900,00m** de levantamento.

Na **Figura 2.12** a seguir é ilustrado, em escala reduzida, o levantamento topográfico completo do sítio principal da Barragem Freicheirinha.

Figura 2.12 - Levantamento Topográfico do Sítio Principal da Barragem Freicheirinha



2.2.5 - LEVANTAMENTO DOS DIQUES AUXILIARES

Após estudo da cartografia gerada e apresentada no item 2.1 deste relatório e definido a cota de coroamento da barragem e cota do sangradouro ficou constatado

que, para o fechamento total da bacia hidráulica da Barragem Freicheirinha, seria necessário o projeto de estruturas auxiliares para fechamento de três pontos de fugas topográficas, que seriam resolvidas com a implantação de diques, denominados 1, 2 e 3. Os levantamentos topográficos foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais, conforme apresentado nas cadernetas de campo no Relatório de Topografia.

2.2.5.1 - Implantação de Marcos e Locação do Eixo

O eixo de cada dique foi inicialmente materializado com a implantação de marcos de concreto que estão caracterizados a seguir:

Dique 1: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.582.854,43N e 303.733,59E e altitude 135,97m seguindo em linha reta até a estaca E11+8,97m, onde foi implantado outro marco de concreto com coordenadas 9.582.771,41N e 303.947,15E, e altitude 136,38, totalizando este eixo 228,97m de comprimento.

Dique 2: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.583.341,11N e 303.146,28E e altitude 138,51, seguindo em linha reta até a estaca E12+0,00, onde foi implantado outro marco de concreto nas coordenadas 9.583.310,18N e 303.384,34E, e altitude 138,95 totalizando este eixo 240m de comprimento.

Dique 3: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.583.432,69N e 302.833,30E, e altitude 138,84, seguindo em linha reta até a estaca E4+0,00m localizada nas coordenadas 9.583.405,06N e 302.908,25E, e altitude 140,14, totalizando este eixo 80m de comprimento.

Utilizando-se uma estação total, foram locados os eixos dos diques, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

2.2.5.2 - Nivelamento

O levantamento altimétrico do eixo dos diques foi realizado utilizando-se um Nível TOPCON– Modelo AT-G6, com precisão 5mm/km, onde foram niveladas e contra-niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 1655L (IBGE).

Foram levantadas seções transversais aos eixos dos diques a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 60,0 metros à montante e à jusante e se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, englobando também os pontos de destaque do relevo topográfico. As cadernetas de campo estão apresentadas no Relatório de Topografia.

Para cada dique, foram levantadas as seguintes seções apresentadas no **Quadro 2.3**:

Quadro 2.3 - Comprimento das Seções Transversais aos Eixos dos Diques

DIQUE 1		DIQUE 2		DIQUE 3	
SEÇÃO	L(m)	SEÇÃO	L(m)	SEÇÃO	L(m)
EST - 00	137,73	EST - 00	168,45	EST - 00	119,87
EST - 01	155,17	EST - 01	162,63	EST - 01	127,58
EST - 02	159,43	EST - 02	157,91	EST - 02	135,91
EST - 03	160,1	EST - 03	154	EST - 03	142,12
EST - 04	159,99	EST - 04	152,64	EST- 03+19,44	149,89
EST - 05	158,65	EST - 05	151,71		
EST - 06	156,14	EST - 06	150		
EST - 07	153,73	EST - 07	161,63		
EST - 08	151,21	EST - 08	173,54		
EST - 09	148,61	EST - 09	185,94		
EST - 10	145,68	EST - 10	196,91		
EST - 11	140,56	EST - 11	209,49		
EST - 12	125,82	EST - 12	211,22		
EST. 12+9,15	125,82	EST. 12+0,06	211,21		
TOTAL (m)	2.078,64	TOTAL (m)	2.447,28	TOTAL (m)	675,37

Nas Figuras **2.13**, **2.14** e **2.15** a seguir são apresentados respectivamente em escala reduzida o levantamento dos eixos dos Diques 1 a 3.

Figura 2.13 - Modelo Gerado - Demarcação do Eixo e Seções Transversais do Dique 1

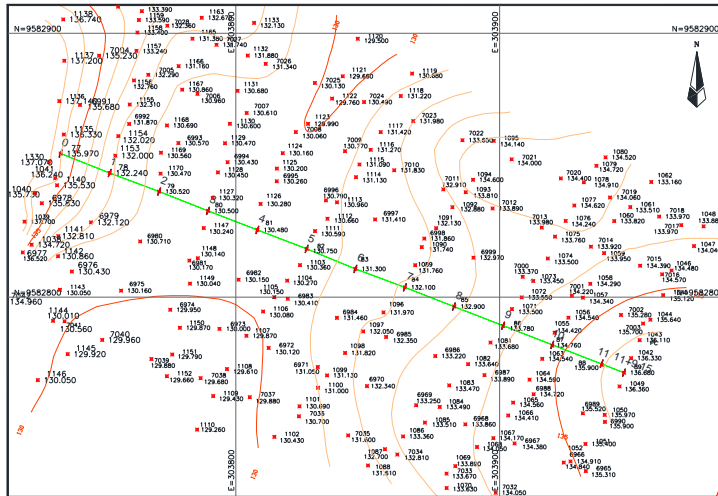


Figura 2.14 - Modelo Gerado - Demarcação do Eixo e Seções Transversais do Dique 2

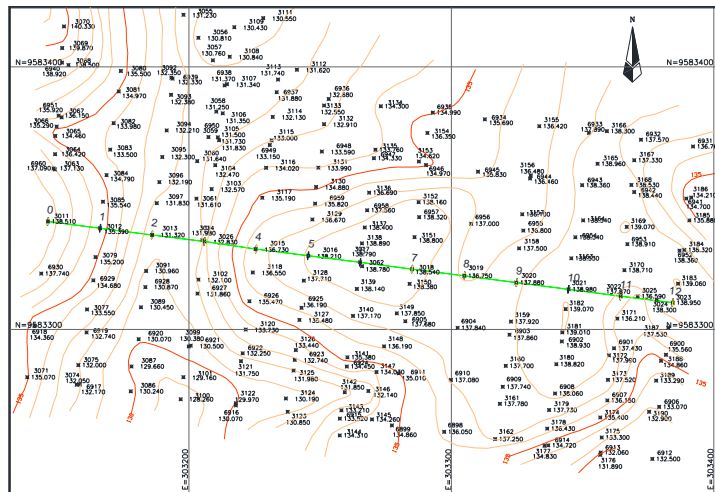
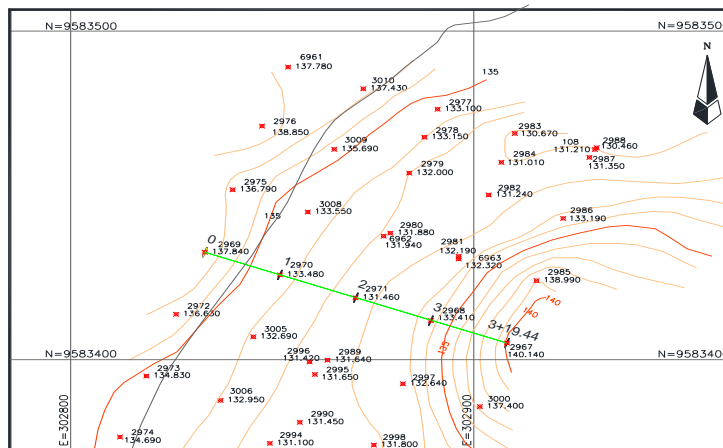


Figura 2.15 - Modelo Gerado - Demarcação do Eixo e Seções Transversais do Dique 3



2.2.6 - LEVANTAMENTO DO SANGRADOURO

Foram estudados dois locais alternativos para o Sangradouro da Barragem Freicheirinha e os sítios que abrangem os dois eixos dos sangradouros foram levantados plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação, nivelamento e contra-nivelamento e levantamento de seções transversais. As cadernetas de campo são apresentadas no Relatório de Topografia.

2.2.6.1 - Locação

As locações foram executadas utilizando-se um Teodolito WILD T-1, cujos eixos foram estaqueados e numerados a cada 20 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

EIXO 1: A partir da estaca E1+0,00m do eixo do sangradouro 1, foi locada uma poligonal totalizando 300,00 m de extensão, acompanhando o talvegue à jusante até próximo ao riacho Caiçara.

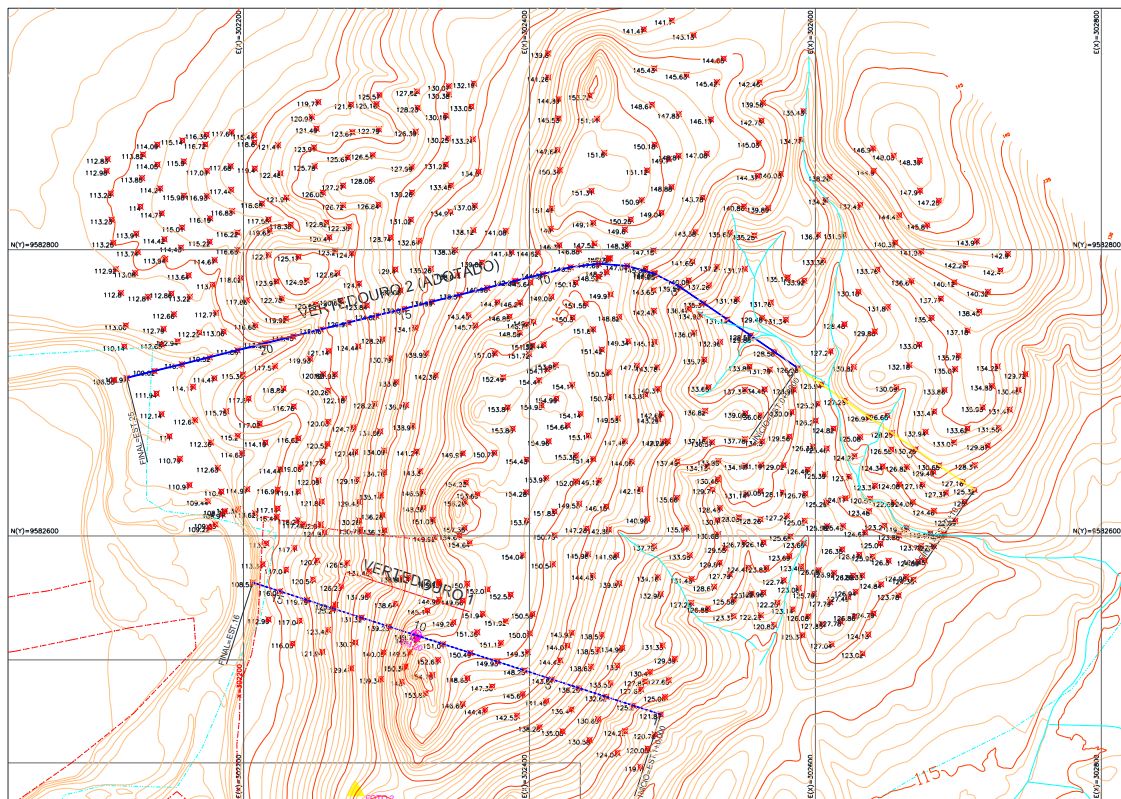
EIXO 2: A partir da estaca E0+0,00m, foram locadas duas poligonais, com a primeira totalizando 500,00 m de extensão, cuja diretriz foi acompanhar o talvegue à jusante do eixo até próximo ao Riacho Caiçara, e a segunda totalizando 150,00m de extensão, à partir do eixo e acompanhando o talvegue na direção de montante do sangradouro até atingir a futura bacia hidráulica do Açude a ser formado com o barramento.

2.2.6.2 - Nivelamento e Seções transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição da alternativa 1 de sangradouro, através de seccionamento a cada 20 metros, com 60 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros, totalizando 1.920,00 m em seções levantadas. Para o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição da alternativa 2 de sangradouro, também utilizando um nível WILD N-1, foram levantadas seções que totalizaram uma área de 19,02 hectares.

A partir desses levantamentos foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro, ver **Figura 2.16** a seguir.

Figura 2.16 - Levantamento dos dois Locais Estudados para o Sangradouro



2.2.7 - LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS

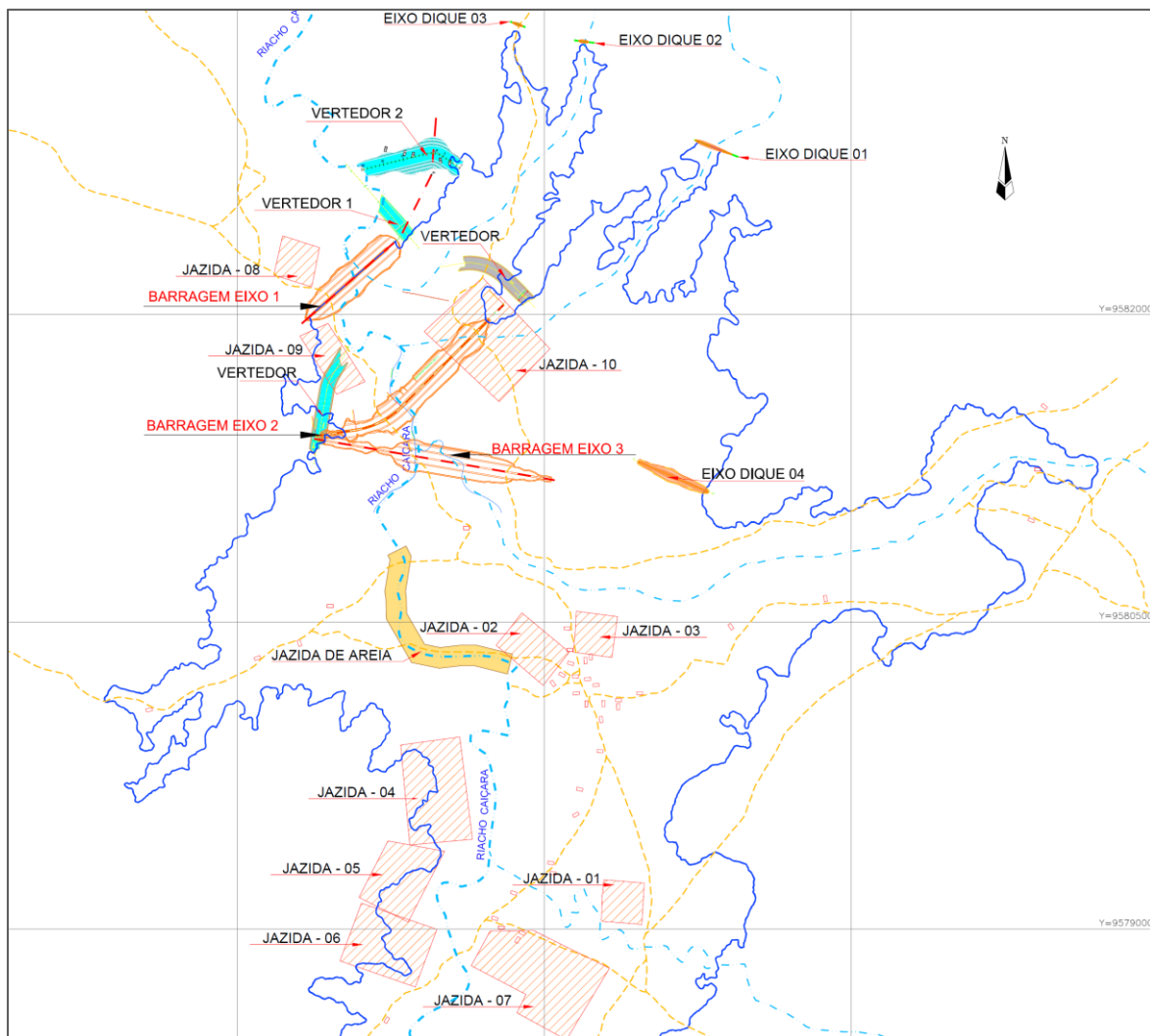
Foram realizados os levantamentos e locações planialtimétricas das áreas de possíveis ocorrências de materiais a serem utilizados na construção da barragem, com amarração à poligonal do eixo principal, ver **Figura 2.17** apresentada a seguir.

Foram locadas 10 jazidas de solos potencialmente exploráveis, de acordo com as caracterizações das amostras coletadas, uma pedra e 04 depósitos de material arenoso (jazidas de areia), para serem utilizadas nas obras, ver croqui das jazidas no Anexo I deste relatório.

2.2.7.1 - Jazidas de Solos

As áreas das ocorrências de materiais terrosos construtivos para execução da barragem Frecheirinha tiveram todos os seus furos levantados com GPS de precisão, tendo como base os marcos implantados nos trabalhos de apoio de campo ao levantamento aerofotogramétrico.

Figura 2.17 – Mapa de Localização dos Eixos Estudados (Alternativas) e das Jazidas



As jazidas de solos foram também objeto do levantamento planimétrico e foram denominadas J-01, J-02, J-03, J-04, J-05, J-06, J-07, J-08, J-09 e J-10.

Inicialmente locaram-se os poços de sondagem levantados em cada jazida sobre uma planta obtida por imageamento de satélite. Em seguida retiraram-se as distâncias do centro de cada jazida até o eixo projetado para a barragem, através das estradas existentes na região ou previstas de serem abertas.

O **Quadro 2.4** a seguir resume o levantamento executado para as jazidas: As figuras a seguir ilustram a locação de cada jazida, bem como suas distâncias ao eixo da Barragem.

Quadro 2.4 - Resumo dos Levantamentos das Jazidas

JAZIDAS	Área da Jazida (m ²)	Área da Jazida (ha)	Espessura Média do Espurgo (m)	Volume do Espurgo (m ³)	Prof. Média dos Poços de Inspeção (m)	Volume Bruto (m ³)	Profundidade Média Útil (m)	Volume Útil da Jazida (m ³)	Distância média para o eixo da Barragem (km)	Percentual de Aproveitamento (%)
Jazida J-01	40.000,00	4,00	0,15	6.000,00	0,81	32.400,00	0,69	27.600,00	3,71	85,19%
Jazida J-02	87.500,00	8,75	0,15	13.125,00	0,92	80.500,00	0,83	72.625,00	2,41	90,22%
Jazida J-03	40.000,00	4,00	0,15	6.000,00	1,02	40.800,00	0,97	38.800,00	2,31	95,10%
Jazida J-04	135.000,00	13,50	0,15	20.250,00	1,02	137.700,00	0,96	129.600,00	3,32	94,12%
Jazida J-05	140.000,00	14,00	0,15	21.000,00	0,92	128.800,00	0,92	128.800,00	4,47	100,00%
Jazida J-06	135.000,00	13,50	0,15	20.250,00	0,83	112.050,00	0,79	106.650,00	4,26	95,18%
Jazida J-07	207.500,00	20,75	0,15	31.125,00	1,11	230.325,00	1,09	226.175,00	4,11	98,20%
Jazida J-08	40.000,00	4,00	0,15	6.000,00	0,91	36.400,00	0,87	34.800,00	0,10	95,60%
Jazida J-09	60.000,00	6,00	0,15	9.000,00	0,95	57.000,00	0,90	54.000,00	0,22	94,74%
Jazida J-10	300.000,00	30,00	0,15	45.000,00	1,06	318.000,00	1,06	318.000,00	0,45	100,00%
TOTAIS	1.185.000,00	118,50		177.750,00		1.173.975,00		1.137.050,00		

2.2.7.2 - Areal

Para execução do filtro de areia e para fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Frecheirinha, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo do leito do riacho Caiçara. Os trabalhos de campo identificaram e localizaram quatro areais para suprir os volumes necessários para construção das obras. Os poços abertos nos areais foram locados com GPS de mão.

O **Quadro 2.5** apresentado a seguir mostra as coordenadas dos centros geométricos dos quatro areais estudados, também apresenta os volumes e as distancias, via estradas vicinais, destes para o eixo da Barragem Frecheirinha.

Quadro 2.5 – Localização, Volumes e Distâncias dos Arais

AREAL	COORDENADAS		COMPRIMENTO TRECHO DO RIO (m)	VOLUME DA JAZIDA (m³)	DISTÂNCIA AO EIXO BARRAGEM (m)
	LESTE (m)	NORTE (m)			
1	302.138	9.584.032	1.130,00	11.300,00	3.974,00
2	302.421	9.584.599	1.020,00	4.998,00	3.998,00
3	302.213	9.586.346	1.860,00	9.114,00	6.081,00
4	303.728	9.589.064	2.120,00	10.388,00	9.280,00
VOLUME TOTAL (m³)				35.800,00	

2.2.7.3 - Pedreira

Foram registrados, através de GPS manual, 20 pontos de referência na pedreira P-01, situada a cerca de 7,37 km, por estradas vicinais, para montante do eixo da barragem (direção sudeste), de onde está prevista a extração de material necessário para a execução de filtros, proteções de taludes e nos concretos das estruturas da barragem, ver **Quadro 2.6** com a delimitação da Pedreira 01.

Quadro 2.6 - Caderneta de Campo da Pedreira 01

CADERNETA DE CAMPO PEDREIRA				
PONTO	COORDENADAS		COTA	DESCRIÇÃO
	Y	X		
7565	9.577.786,37	305.660,18	167,13	P1
7566	9.577.847,30	305.780,06	165,33	P2
7567	9.577.875,75	305.788,70	164,04	P3
7568	9.577.884,76	305.779,64	163,44	P4
7569	9.577.877,20	305.756,40	164,21	P5
7570	9.577.880,80	305.745,38	165,38	P6
7571	9.577.878,51	305.732,50	166,10	P7
7572	9.577.876,83	305.713,88	165,85	P8
7573	9.577.876,63	305.703,02	165,10	P9
7574	9.577.870,11	305.679,94	166,94	P10
7575	9.577.849,98	305.647,93	170,21	P11
7576	9.577.827,20	305.612,56	169,95	P12
7577	9.577.806,44	305.591,02	168,60	P13
7578	9.577.799,82	305.587,66	168,38	P14
7579	9.577.777,20	305.570,71	165,88	P15
7580	9.577.772,13	305.572,47	165,59	P16
7581	9.577.768,86	305.589,43	165,80	P17
7582	9.577.768,29	305.612,89	166,60	P18
7583	9.577.777,83	305.639,01	166,56	P19
7584	9.577.798,93	305.645,25	171,89	P20

2.3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

2.3.1 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

2.3.1.1 - Introdução

Os estudos geológicos foram realizados inicialmente pesquisando as bibliografias correlatas à área em questão, utilizando-se uma escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas da região, tendo como base de pesquisa bibliográfica o mapa geológico do Estado do Ceará, na escala 1:500.000, elaborado pela Companhia de Recursos e Pesquisas Minerais – CPRM - 1983; o mapa do Radam Brasil em escala 1:1.000.000, elaborado pelo Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM; o Projeto Jaibaras – Convênio DNPM/CPRM, 1973; e a publicação do artigo Sismicidade do Nordeste do Brasil, Ferreira, J.M. & Assunção, M., 1983, publicado na Revista Brasileira de Geofísica.

Em seguida os estudos foram realizados em escala localizada, possibilitando uma melhor definição das litologias e suas respectivas estruturas. Os estudos geológicos de superfície constaram de um mapeamento detalhado do sítio barrável, executado através de caminhamentos ao longo do eixo, utilizando como instrumentos, uma bússola, martelo geológico, lupa, trena e caderneta de campo para anotações.

2.3.1.2 - Atividades Sísmicas Regional

Segundo Sykes (1978), os terremotos intraplacas, como os do Brasil, ocorrem pela reativação de zonas de fraqueza (falhas) pré-existentes. Mais recentemente, Johnston (1989) concluiu que esta reativação não é resultante diretamente do strain elástico originado do movimento das placas, mas, deve ser causada por um stress desviador regional gerado no limite entre elas (ridge push para o cabo do Nordeste, ver Park, 1988) e transmitido até seu interior. Talwani (1989), sugere que a reativação deve-se a um ou mais dos seguintes mecanismos:

- a) Amplificação localizada do stress em zonas de fraqueza pré-existentes, como consequência do stress tectônico regional que é transmitido para o interior das placas a partir dos seus limites;

- b) Adição de um stress local ao stress regional via carga de sedimentos em margens continentais passivas ou desglaciação;
- c) Redução da resistência por meios físicos ou mecânicos.

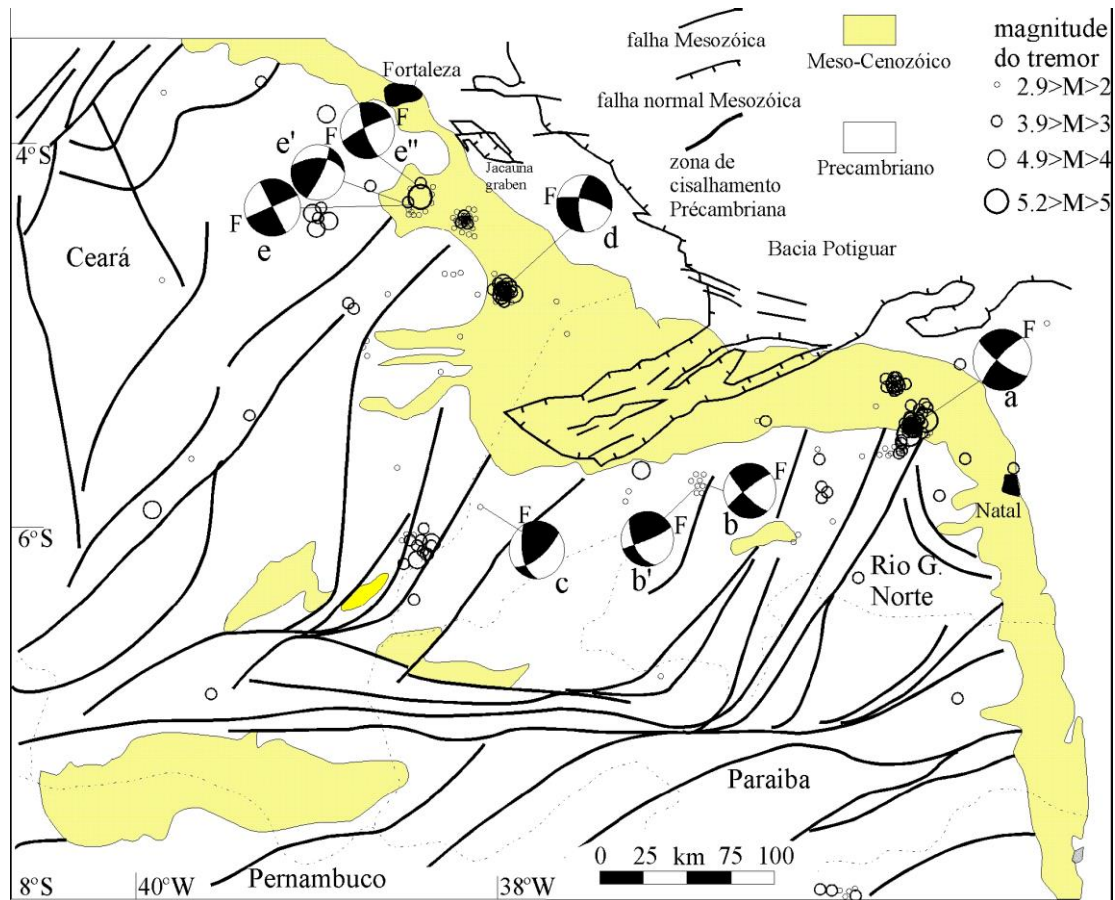
Os terremotos são também causados por atividades humanas (sismos induzidos) destacando-se aqueles provenientes do Peso d'água e aumento da pressão de fluidos provocado pelos reservatórios ou da extração de fluidos em aquíferos, poços de petróleo etc. (ver Reilinger e Brown, (1981); Segall, (1989); Scholz, (1990) etc.).

Segundo Scholz (1990), os sismos (inter e intraplacas) são, na maioria, provenientes de instabilidade no deslizamento de falhas pré-existentes. Sendo assim, são muito mais fenômenos friccionais que de resistência à ruptura.

2.3.1.2.1 - A Sismicidade do Nordeste

O Nordeste do Brasil tem apresentado importantes atividades sísmicas. As primeiras Informações sobre estas atividades remontam a 1808 e relacionam-se a um sismo que ocorreu na região de Açu-RN, segundo dados de Capanema (1859, in Berrocal et al. 1984). Essa atividade está distribuída em sítios localizados e persistentes, incluindo eventos com magnitudes $\leq 5,2$ mb e intensidade $\leq VII$ MMI, capazes de causar danos importantes para o ambiente urbano da região. São exemplos importantes de outras atividades sísmicas: em Pacajus-CE (1980), em São Rafael-RN (1985-1989), em João Câmara-RN (1986-1989), em Groáiras-CE (1988), em Palhano e Cascavel-CE (1989-1994) e em Tabuleiro Grande-RN (1993), entre outros (Berrocal et al. 1984, Assumpção 1992, Ferreira et al. 1995). (**Figura 2.18**).

Figura 2.18 - Sismicidade e Mecanismo Focais no Nordeste Oriental.



(a) João Câmara-RN; (b e b'.) São Rafael-RN; (c) Tabuleiro Grande-RN; (d) Palhano-CE; (e) Pacajus-CE; (e e') Cascavel-CE. Modificado de Berrocal et al. (1984) e Ferreira et al. (1998)

O monitoramento efetuado pela equipe de Sismologia do Departamento de Física Teórica e Experimental (DFTE/UFRN) tem mostrado que os epicentros estão concentrados próximos aos limites ou no interior da Bacia Potiguar (eg, Takeya et al. 1989, Ferreira et al. 1995).

Os estudos sismológicos até aqui desenvolvidos (eg, Ferreira 1983, 1987, Assumpção et al. 1985, Takeya et al. 1989, Takeya 1992) indicam que a distribuição da sismicidade não é aleatória, mas está relacionada de maneira ainda pouco conhecida, ao campo de tensões atual e as feições herdadas, incluindo a Bacia Potiguar.

2.3.1.2.2 - A Sismicidade do Noroeste do Ceará

As atividades sísmicas do Noroeste cearense são conhecidas desde o século passado, conforme Ferreira & Assumpção, (1983), o primeiro evento noticiado ocorreu no município de Granja, em 1810. Os eventos que alcançaram maior magnitude foram os ocorridos em Groaíras e em Irauçuba (respectivamente, em 1988 e 1991), com réplicas estudadas por Ferreira et al., 1998, alcançando intensidade VI MM. De 1810 até 2008 os dados disponíveis eram quase todos de caráter histórico, com exceção de alguns eventos registrados pela estação NAT, localizada em Natal-RN e operada pela UFRN, pelas estações da rede de Sobradinho, operada pelo IAG/USP, e da rede de Itaitiaia, operada pela UnB. Atualmente a região Noroeste do estado possui uma estação sismográfica SBBR instalada na fazenda da EMBRAPA Caprinos, em Sobral e opera na região desde agosto de 2007.

No final de janeiro de 2008 iniciou-se uma intensa atividade sísmica na região de Sobral, com um evento de magnitude 2,5 mb ocorrido no dia 28 desse mês, sendo sentido no distrito do Jordão. A atividade continuou nos meses subsequentes e o evento de maior magnitude, que foram na realidade dois, foram de 4,2 mb e 3,9 mb, ocorridos com uma diferença de apenas três minutos, no dia 21 de maio de 2008. O **Quadro 2.7** a seguir relaciona os sismos ocorridos.

Quadro 2.7 - Principais Sismos Ocorridos no Noroeste Cearense – Magnitude >3,0 mb

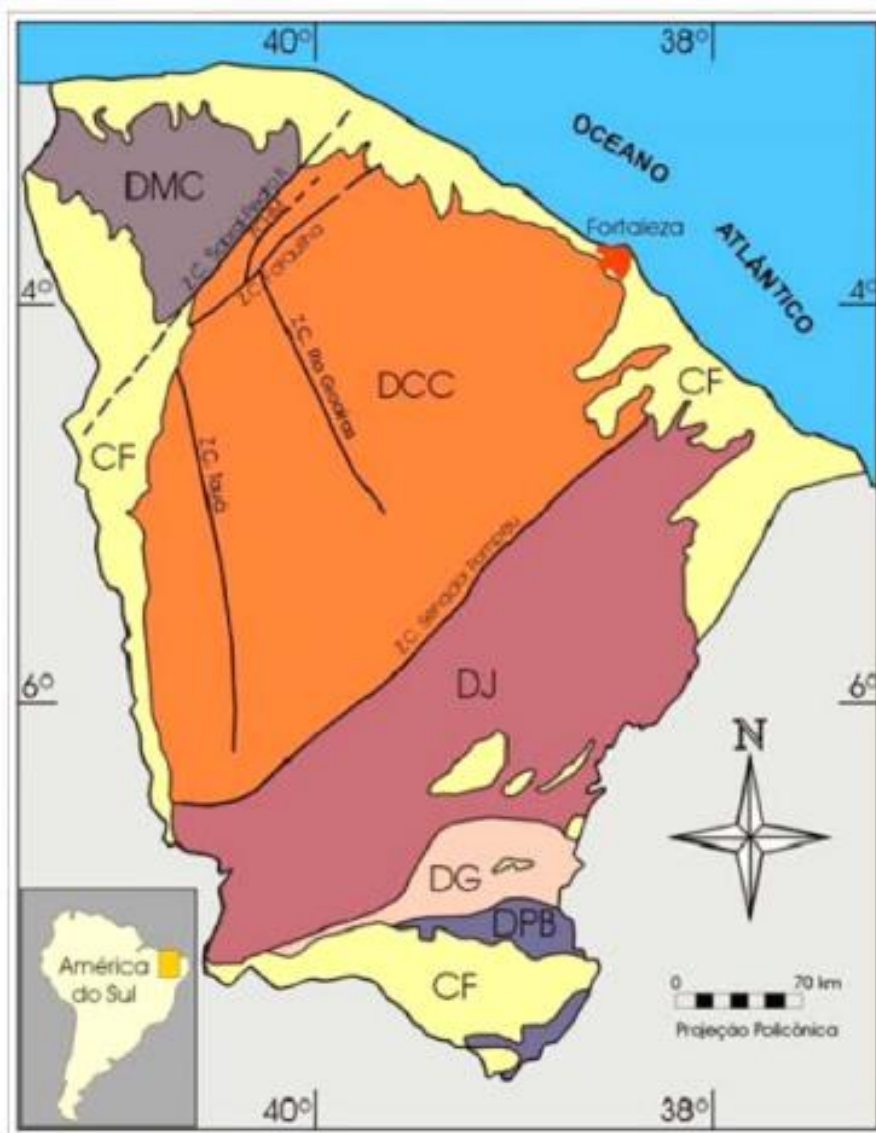
Localidade	Ano	Magnitude
		(mb)
Granja	1942	3
São Luis do Curú	1974	3,3
Tapajé	1987	3
Groaíras	1988	3,9 e 4,1
Frecheirinha	1989	3,2
Irauçuba	1991	4,8
Groaíras	1995	3,4
Frecheirinha	1997	3,2
Senador Sá	1997	3,0 e 3,2
Sobral	2008	3,1; 3,7; 3,9 e 4,2

Fonte: Boletim Sísmico da Revista Brasileira de Geofísica. (Modificada de CPRM, 2003).

O Lineamento Tectônico Brasileiro - LTB, no Noroeste do Ceará, aflora entre a Bacia do Parnaíba e a faixa costeira, sendo representado pelo Lineamento Sobral-

Pedro II - LSP II, dividindo a região em dois Domínios Geotectônicos: o DMC e o DCC; em associação a outras falhas, como a falha Café – Ipueiras, Lineamento Sobral-Pedro II, Massapê, Humberto Monte e Forquilha (**Figura 2.19**).

Figura 2.19 - Domínios Tectônicos do Estado do Ceará



ZCHM – Falha Humberto Monte, DMC – Domínio Médio Coreaú, DCC – Domínio Ceará Central, DJ – Domínio Jaguaribe, DG – Domínio Granjeiro, DPB – Domínio Piancó – Alto Brígida, CF – Cobertura Fanerozóica.

O DMC ocupa uma posição de destaque na formulação de um modelo geodinâmico para a orogênese do Brasiliano, em correlação com os grandes traços da cadeia Pan-Africana na África Ocidental (Jardim de Sá, 1994) e é caracterizado, tectonicamente, por um sistema de zonas de cisalhamento Neoproterozóicas de

direção NE-SW, destacando-se o Lineamento Sobral-Pedro II, de descontinuidade de magnitude continental.

A atividade sísmica na região Noroeste do Ceará vem sendo registrada desde o século passado e ultimamente tem se manifestado de forma mais intensa e numerosa (Ferreira et al., 1998; França et al., 2004). Juntando isto ao fato de a região estudada estar localizada em ambiente com histórico de intensa atividade tectônica (DMC). Apesar da proximidade da área de estudo com as megaestruturas tectônicas, sem correlação definida até então, seu risco sísmico não pode ser subestimado no dimensionamento e estudos de estabilidade da Barragem Frecheirinha.

2.3.1.3 - Geomorfologia

A Serra da Ibiapaba, onde se originam as nascentes do Riacho Caiçara, é uma das feições geomorfológicas mais importantes para o estado do Ceará e região Nordeste do Brasil, ela apresenta lacunas em sua história natural e, por conseguinte, a necessidade de um maior conhecimento. Uma etapa importante para o preenchimento dessa lacuna passa pelo conhecimento dos substratos geológicos dos relevos que compõem a Serra da Ibiapaba.

“Mais do que influenciar, os aspectos litológicos, tectônicos e cronoestratigráficos, muitas vezes, condicionam o arranjo geomorfológico em escala regional, o que ocorre na Ibiapaba” (MOURA-FÉ, 2015). Sendo assim, o objetivo principal desse trabalho é apresentar os condicionamentos geológicos na geomorfologia da Ibiapaba em sua porção setentrional.

A determinação específica da área setentrional para este estudo, dentro dos 380 km de extensão da Ibiapaba, não se deu por acaso. As suas dimensões regionais e a dificuldade em se trabalhar todo o modelado, determinaram a escolha de um fragmento para a realização do estudo. Também foram considerados de forma criteriosa e com base no conhecimento prévio da região, os elementos logísticos e, sobremaneira, as características geográficas e geomorfológicas mais significativas.

A **Figura 2.20** apresenta um recorte espacial do modelado da Serra da Ibiapaba, tendo como foco os setores centro-norte e norte da Ibiapaba, bem como os respectivos entornos setentrional e oriental, fundamentais para analisar a

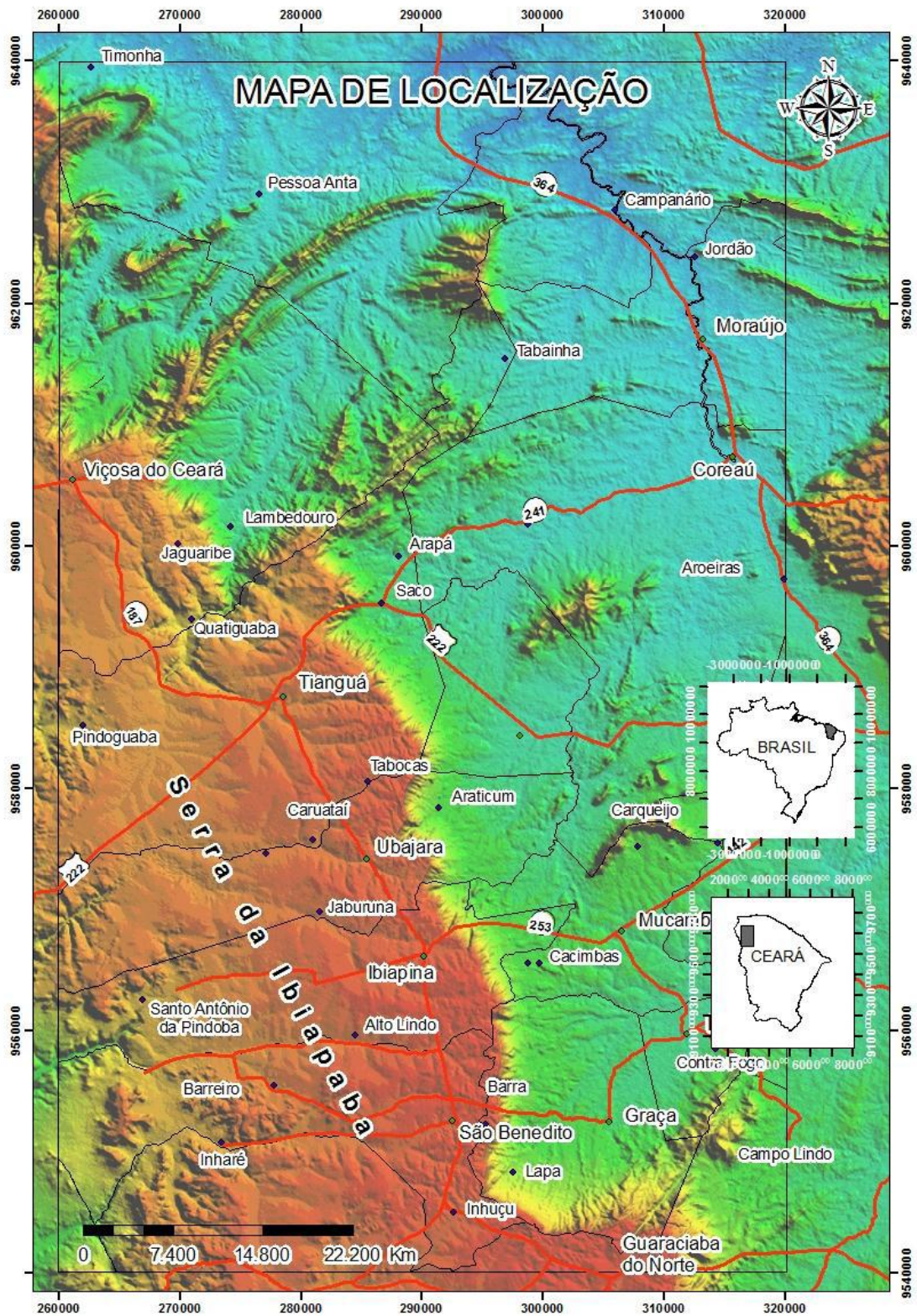
diferenciação geomorfológica que se estabeleceu entre os setores norte e leste e para o entendimento geológico-geomorfológico da região setentrional da Ibiapaba, na qual está inserido sítio da Barragem Freicheirinha.

Nas porções norte e leste da área, ocorre a Província Borborema, mais precisamente, o seu Subdomínio Médio Coreaú (SDMC). O SDMC comporta o sistema de dobramentos marginais do Médio Coreaú e um sistema de falhas paralelas de direção NE-SO, estrutura-se em uma sucessão de horsts e grabens, orientados conforme o sistema de falhas (NE-SO), o que indica uma grande mobilidade tectônica da região nos períodos finais do pré-Cambriano e no Paleozoico Inferior, com reativações secundárias em períodos mais recentes (COSTA et al., 1979; HASUI, 2012; PIRES, 2003; SANTOS et al., 1984).

Delimitado a SO pela bacia do Parnaíba e a SE pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (ZCS), o SDMC é compartimentado tectonicamente em 4 (quatro) blocos tectônicos, os quais correspondem a uma alternância de horsts e grabens: horst de Granja, graben Martinópolis, horst Tucunduba e o graben Ubajara-Jaibaras (COSTA et al., 1979; PIRES, 2003), onde todos apresentam contato direto com as vertentes norte e leste da Ibiapaba.

Esse quadro tectônico é o primeiro condicionante sobre o relevo da região estudada, pois perfaz a macro-estruturação topográfica, ao passo que ao longo dos horsts temos os relevos mais elevados na região de contato com a Ibiapaba; e nos grabens temos altitudes menores e a maior captação das águas nas bacias hidrográficas da região e, por conseguinte, o desenvolvimento dos maiores cursos d'água.

Figura 2.20 - Mapa de localização da Ibiapaba setentrional



Fonte: Moura Fé – 2015.

2.3.1.4 - Síntese da História Geológica

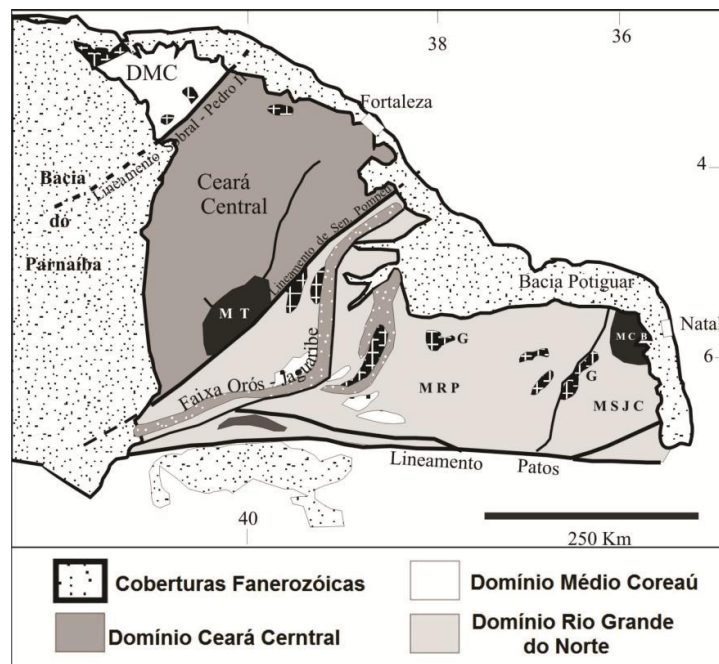
2.3.1.4.1 - Arcabouço Geológico Regional

A área da Barragem está inserida no contexto geológico da Província Borborema, denominada assim primeiramente por Almeida et al. (1977). Uma Província é um retalho de terrenos de diferentes litologias, separados por falhas e lineamentos importantes segundo Santos et al. (2007).

A Província Borborema cobre uma área de 400.000 Km² e está localizada na região nordeste do território brasileiro (BRITO NEVES et al., 2001). Compreende a parte central de um amplo cinturão orogênico Pan-Africano-Brasiliano, desenvolvido como consequência de uma convergência e colisão dos crátons São Luís - Oeste da África e São Francisco-Congo- KASAI NO FINAL DO NEOPROTEROZÓICO.

A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênese (colagem) brasileira (SANTOS et al., 2001). A porção Norte da Província está representada na **Figura 2.21**, onde acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios: Médio Coreauá, Ceará Central e Rio Grande do Norte (BRITO NEVES, 2000). A área de estudo está inserida no Domínio Médio Coreauá (DMC).

Figura 2.21 - Domínios Geológicos da Região Norte da Província Borborema (Fetter, 1999)



Grupo Ubajara (NPu): unidade metassedimentar (HASUI, 2012) de idade neoproterozoica (~635-850 Ma) que ocorre nos setores leste e sudeste da área, ocupando majoritariamente a porção SO do graben Ubajara-Jaibaras, delimitado ao sul pelo granitoide Mucambo e composto pelas seguintes formações: Trapiá (NPut): formação basal, composta por quartzitos conglomeráticos; Caiçaras (NPuca): composta por ardósias vermelhas e roxo-avermelhadas, provenientes do metamorfismo de baixo grau (IBGE, 1999); Frecheirinha (NPuf): formada por calcários que distribuem-se em faixas irregulares na região compreendida entre a vertente leste da Ibiapaba e o maciço da Meruoca. Compõem os relevos calcários (cones cársticos, e a gruta de Ubajara) da região; Coreau (NPuc): formação superior e de maior área aflorante.

Além dessas formações, tem-se os termometamorfitos (NPutm), originados no período em que o grupo Ubajara foi cortado por intrusões graníticas e granodioríticas do granitoide Mucambo, resultando em suas áreas de contato no desenvolvimento dos termometamorfitos, derivados de litotipos das Formações Trapiá, Frecheirinha e Coreau (CPRM, 2003). São zonas de transformação por metamorfismo de contato, que transiciona para as rochas não metamorfizadas da mesma unidade.

Granitoide Meruoca - Suíte Intrusiva Meruoca (ϵ_{y4m}): de idade cambriana (485,4-541 Ma) é composta por rochas plutônicas associadas aos plútons Meruoca e Mucambo (HASUI, 2012). Situa-se próximo da Ibiapaba, sendo separados pelos afloramentos dos termometamorfitos do Grupo Ubajara.

2.3.1.4.2 - Grupo Ubajara (NPu) - Proterozóico Superior

O Grupo Ubajara foi descrito primeiramente por Small (1914) como sendo composto de folhelhos, calcários e arenitos. Posteriormente esse grupo foi chamado de Grupo Bambuí e foi subdividido em quatro unidades por Mabassone, Beurlen, Rand (1971) e Costa et al. (1973), sendo estas Formação Coreau (composta por grauvacas, arcóseos, arenitos finos e hornfels), Formação Freicheirinha (composta por calcários e hornfels), Formação Caiçaras (composta por ardósia, quartzito e hornfels) e Formação Trapiá (composta por arenito, siltito, siltito filitoso e hornfels). Posteriormente essas unidades foram melhor definidas por outros autores assim o

Grupo Ubajara passou a ser representado da base para o topo pelas seguintes formações:

Formação Trapiá (NPut):

Constituída por quartzitos conglomeráticos, arenitos grossos, metarenitos finos a médios com matriz siltico-argilosa. Os arenitos quartzíticos, arenitos e folhelhos arroxeados da região de Ubaúna e do riacho Trapiá foram designados por Kegel et ali, (op. Cit.), como da Formação Trapiá, posicionados estratigraficamente sobrepostas ao calcário Frecheirinha.

A Formação Trapiá ocorre conspicuamente no vale do riacho de mesmo nome, região de Ubaúna, onde foi originalmente reconhecida e descrita. Exibe perfil típico ao longo da rodovia BR-222 e a partir desta rodovia, estende-se para sudeste, bordejando o flanco noroeste do stock granítico de Mucambo, até o sopé da Ibiapaba.

Nos afloramentos, a Formação Trapiá apresenta-se como uma sucessão de bancos dessimétricos, em alguns casos atingindo um metro de espessura, com acamamento regular, constituído predominantemente de quartzitos pardo a cinza escura intensamente fraturadas, e cimento siltico-argiloso.

Na faixa de contato ao longo do riacho Trapiá, e nos afloramentos da BR-222, cerca de três km a leste de Ubaúna, a Formação Trapiá passa gradualmente para as ardósias vermelhas com quartzitos intercalados da Formação Caiçaras. Nestes afloramentos as ardósias mergulham sob os arenitos filíticos Trapiá, insinuando posicionamento estratigráfico inverso. Trata-se, contudo, de um exemplo de inversão tectônica ao longo de uma sinclinal inversa da qual ambas as formações participam.

A Formação Trapiá caracteriza-se essencialmente pela constância de sedimentos clásticos em toda a sua seção, dominando na porção noroeste da bacia quartzitos conglomeráticos e arenitos grosseiros epimetamórficos, geralmente mal classificados.

A Formação Trapiá modelou-se em uma anticlinal complexa de difícil interpretação em função da precariedade dos afloramentos. Aparentemente constitui o núcleo da dobra, cujo eixo mergulha para sudoeste. Esta estrutura foi truncada por

falhamentos no flanco leste e ainda nas proximidades de Frecheirinha por falhas de colapso, paralelas ao eixo de dobramento.

A interpretação tectônica da bacia indica a provável sequência basal do Grupo, representada pela Formação Trapiá. As litologias ali observadas com dominância de quartzitos conglomeráticos e quartzitos grosseiros puros que caracterizam o início de um ciclo de deposição transgressivo com sedimentos de elevado grau de maturidade que em termos regionais apresentam um marcado zoneamento granulométrico.

De certa forma, o caráter Interdigitado dos contatos e as passagens laterais da fácies clástica dominante na Formação Trapiá para a fácies pelítica característica da Formação Caiçaras indica uma relação de contemporaneidade pelo menos parcial das duas formações; a primeira representando a sedimentação proximal e a segunda a sedimentação distal de um mesmo ciclo sedimentar.

Formação Caiçaras (NPuca)

Composta por ardósias vermelhas e roxo avermelhadas, metassilitos e intercalações de metarenito, frequentemente cristalizados e cortados por veios de sílica.

As ardósias vermelhas com bancos quartzíticos intercalados, conspicuamente no trecho de BR-222, entre Ubaúna e o riacho Siriema. Este conjunto litológico incluído por Kegel et. all, (op. cit.) no então proposto Trapiá, foi pela primeira vez individualizado como unidade litoestratigráfica por Mabesoone et ali, (op. cit.), sob a denominação de Formação Caiçaras.

Em seu novo conceito, esta unidade se sobrepõe aos calcários da Formação Frecheirinha, portanto, em posição inversa daquela sugerida por Mabesoone, e apresenta contatos transicionais com os arenitos síltico e quartzitos da Formação Trapiá e com os calcários referidos.

A Formação Caiçaras ocupa uma estreita faixa em posição axial no miogeosiclínio da Ibiapaba, de direção nordeste, desde as proximidades da cidade de Ibiapaba até a região de Ubaúna, onde se bifurca em um ramo de direção noroeste até o povoado Penanduba e outro de direção nordeste no rumo do riacho Trapiá e da

serra do Rosário. A área principal de ocorrência corresponde ao vale do riacho Caiçaras que empresta o nome a Formação.

As áreas de ocorrências da Formação Caiçaras exibem um modelo acidentado onde se destacam cristas alinhadas de quartzitos e vales entalhados com encostas íngremes.

Nos afloramentos apresentam-se como espessos pacotes de ardósias vermelhas e roxa-avermelhada, laminadas e clivagem ardosiana bem desenvolvida. São comuns zonas concêntricas de descoloração resultando em curiosas feições multicoloridas.

Os elementos grosseiros são representados por pacotes de ortoquartzitos de até 20 metros de espessura, de cores claras ou impregnadas de óxido de ferro, frequentemente recristalizadas, e cortados por veios de sílica. A Formação constitui uma série isoclinal com mergulhos fortes para sudeste e que corresponde a uma sinclinal inversa que evolui em direção norte para uma sinclinal simétrica, normal.

O caráter extremamente plástico das ardósias resultou em um conjunto intensamente deformado com abundantes “drags”, microdobras e outras feições tectônicas que dificultam as estimativas de espessura da unidade.

A Formação Caiçaras caracteriza-se por extrema monotonia de tipos petrográficos, praticamente restritos a ardósia vermelha e quartzitos.

Microscopicamente, as ardósias apresentam grande fissilidade, desagregando-se facilmente em placas lisas segundo uma direção preferencial de clivagem. Apresentam cores avermelhada e roxo-avermelhada com manchas de descoloração creme esbranquiçada, que conferem aos afloramentos um aspecto mosqueado. São rochas de composição argilosa e síltica, macias ao tato, e bastante compactas. Revelam matriz pulverulenta de cor vermelha e material argiloso contaminado com hidróxidos de ferro. Apresentam leitos com predominância de grãos de quartzo recristalizados, associados a finas palhetas de sericita, que interpenetram com leitos de material argilo-ferruginoso.

Do ponto de vista tectônico a Formação Caiçaras está estruturada em ampla sinclinal orientada segundo SW-NE e cujo eixo apresenta caimento pronunciado para

nordeste. Na sua porção norte comporta-se como uma dobra simétrica, com mergulhos convergentes das abas. Na parte média esta estrutura sofre uma rotação no plano axial evoluindo para uma sinclinal inversa com mergulho do plano S para sudeste e cuja aba oeste cavalga as Formações Coreaú e Frecheirinha, ao longo da falha Siriema. Da BR-222 para sul, falhamentos de gravidade põem em contato tectônico esta unidade com os quartzitos da Formação Trapiá, do lado leste.

Formação Frecheirinha (NPuf)

Compreende metacalcários, metassiltitos e metaquartzitos escuros; formada também por hornfels, que são termometamorfitos derivados de litotipos das formações Trapiá e Coreaú (evento térmico cambriano/pós-orogênico).

A presença de calcário no noroeste do Ceará foi originalmente assinalada por Willians, (op. cit.), comparando-o a série São Francisco-Bambuí. Oliveira & Leonardos, (op. cit.), descreveram calcários cinza escuro entre Sobral e Tianguá e adotaram a mesma correlação sugerida por Willians, com a Série Bambuí. A designação de Formação Bambuí para os calcários pretos da região de Frecheirinha foi proposta por Kegel, (op. cit.), e interpretada pelo mesmo autor como estratigraficamente superior a Formação Jaibaras.

Os calcários da Formação Frecheirinha, distribuem-se em faixas irregulares na região compreendida entre a serra da Ibiapaba e a serra Meruoca-Rosário. Na área de Frecheirinha esta unidade ocorre desde a encosta da Ibiapaba, região das grutas de Ubajara e ao longo do vale do riacho Siriema, até a serra de Penanduba, em uma faixa de direção NE-SW, exibindo excelentes exposições ao longo da rodovia BR-222. Entre Ubaúna e Aprazível, ocorre em faixas irregulares, por vezes descontínuas.

Mineralogicamente, os calcários desta Formação são compostos essencialmente de calcita e em quantidade subordinadas, dolomita, matéria argilosa, óxidos de ferro e quartzo. A calcita apresenta-se quase sempre como uma massa micrítica texturalmente arranjada em mosaico.

Formação Coreaú (NPuc)

São subarcóseos e arcóseos, grauvacas e grauvacas conglomeráticas sobrepostos concordantemente aos calcários da Formação Frecheirinha, geralmente com contatos transicionais, foi individualizada uma sequência de arenitos arcoseanos finos de cores creme e cinza claro e grauvacas líticas escuras, por vezes conglomeráticas, que ocupa posição estratigráfica bem definida como unidade mais jovem do Grupo.

Para esta unidade estratigráfica propôs-se a denominação de Formação Coreaú, que desenvolve o alto curso sobre suas áreas de ocorrência. O conjunto de litologias diferenciadas como Formação Coreaú tem sido englobada por diversos autores na Formação Trapiá, em seu conceito antigo, da mesma forma que todas as demais sequências areníticas ocorrentes na área das bacias Jaibaras e Bambuí. Os perfis típicos desta unidade afloram ao longo da rodovia CE-071, no trecho Aprazível-Coreaú, a ao longo da BR-222 entre Frecheirinha e Saco.

A Formação Coreaú é a unidade estratigráfica dominante nos setores oeste e norte da área ocupada pelo Grupo. Ocorre ainda em larga faixa de direção nordeste desde o sopé da serra da Ibiapaba até o rio Coreaú.

Nesta área sofre inflexão para sul, ocupando o vale do rio Coreaú e uma faixa estreita e irregular ao longo da rodovia CE-071, até a região de Aprazível. Outras representações da Formação Coreaú foram mapeadas ao longo do vale do riacho Siriema, preenchendo calhas de sinclinais.

A Formação Coreaú foi cortada pelas intrusões graníticas e granodioríticas do Mucambo e Meruoca-Rosário, resultando em suas áreas de contato o desenvolvimento de típicos hornfels. Foi ainda seccionada por inúmeros diques relacionados ao vulcanismo do Grupo Jaibaras, especialmente a sul e sudoeste de Coreaú.

Considerando a ampla faixa de exposição da Formação ao longo da escarpa da Ibiapaba, no trecho Tianguá-Ubajara, com desníveis da ordem de 700 metros e ainda os fortes mergulhos e peculiaridades tectônicas, estima-se valores mínimos da ordem de 2.000 metros de espessura para esta unidade.

Sumariamente, as litologias desta Formação podem ser agrupadas nos termos arcóseos e ou arenitos arcoseanos e grauvacas. Estas litologias acham-se intimamente relacionadas e ainda que reconhecendo nas diversas áreas da bacia a dominância de uma ou de outra fácies, ambas se interpenetram e se sucedem em uma típica associação terrígena do tipo flysch. No desenvolvimento geotectônico da área, a Formação corresponde ao início do estágio de pós-inversão da geosinclinal caracterizada por acentuado desequilíbrio tectônico com áreas fortemente subsidientes ao lado de áreas em franco processo de soerguimento.

Do ponto de vista geotectônico, as Formações Pré-Cambrianas do noroeste do Ceará corresponderiam a extensão setentrional dos sedimentos depositados na borda ocidental da plataforma do São Francisco e que constituem o geosinclíneo Brasília, Almeida, (Op. cit.). Com efeito, observa-se uma similitude flagrante na evolução tectônica do geosinclíneo Brasília e do conjunto aqui individualizado como miogeosinclíneo da Ibiapaba. À correspondência de fácies litológicas associa-se a correspondência de estilo tectônico, cujo elemento dominante, em ambos os casos são falhas inversas e dobras isoclinais ou reviradas.

A continuidade do miogeosinclíneo Ibiapaba por sob os sedimentos da bacia do Meio Norte em direção sudoeste, se bem que especulativa, apoia-se de certa forma na coincidência das direções estruturais no noroeste do Ceará e no bordo sul da bacia, região noroeste de Goiás.

2.3.1.4.3 - Granitóides Tipo Meruoca e Mucambo (Paleozoico - Pré-Cambriano)

Dois importantes “stocks” graníticos ocorrem na área de sedimentos epimetamórficos do grupo e constituem as serras Meruoca-Rosário e do Mucambo.

Kegel et. ali, (op.cit.), colocam o granito da Meruoca no embasamento cristalino. Cobra, (op.cit.), admite duas fases intrusivas, a mais antiga representada pelo granito Mucambo, pré-vulcânico e outra mais jovem representada pelo granito Meruoca-Rosário, pós-vulcânico. Mabesoone et alii, (op.cit.), referem-se aos granitos da serra do Carnutim e Meruoca, posicionando-os no Grupo Jaibaras como evento pós-Trapiá e pré-Aprazível. Datação radiométrica (K/A) em amostra do granito Meruoca revelou idade de 440 m.a. Vandomos, (op.cit.), ficou no Cambriano Médio.

Stock Granítico da Meruoca-Rosário (eY4m)

O Stock granítico Meruoca-Rosário localiza-se no curso médio do Rio Acaraú, e tem forma aproximada de um quadrado com cerca de 20 km de lado, o que corresponde a uma área da ordem de 400 km². Constitui as serras da Meruoca, com altitude máxima de 990m, e do Rosário, com altitude máxima de 970m, e relevo montanhoso com escarpas abruptas, geralmente nus ou com feições ruiformes em blocos de rocha soltos e empilhados de forma caótica.

Os contatos do stock granítico com as formações do Grupo Jaibaras são sempre de caráter tectônico e não foram assinaladas evidências de termometamorfitos. Nas áreas de contato com o Grupo Ubajara e rochas do embasamento pré-Cambriano desenvolveu-se uma ampla auréola de metamorfismo térmico, parcialmente mascarada por falhamentos.

Stock Granítico do Mucambo (eY4m)

Esta importante massa intrusiva situa-se na porção sul-central da folha Frecheirinha, tem forma grosseiramente circular com alongamento pronunciado para sudoeste, e é truncado nos flancos leste e sudeste pela falha Café Ipueiras, compreendendo uma área de aproximadamente 180 km².

Morfologicamente, condiciona duas paisagens distintas. Na parte sul e central, instalou-se um peneplano suave com espesso solo de decomposição. A parte norte do maciço, por outro lado, corresponde a área de relevo áspero, e constitui a denominada Serra do Carnutim.

O stock granítico Mucambo, intrusivo nos sedimentos epimetamórficos do Grupo, proporciona o desenvolvimento de uma ampla auréola de metamorfismo térmico. Ao longo do contato com as formações do Grupo Jaibaras, acompanhando a falha Café Ipueiras, não foi observada qualquer manifestação de termometamorfismo nos sedimentos da Formação Pacujá, insinuando a “mise en place” anterior da intrusão granítica.

Os stocks de Mucambo e Meruoca-Rosário são intrusivos no Grupo Ubajara como bem o demonstram as auréolas de termometamorfismo e metassomatismo de contato. Ambas apresentam granulação grosseira generalizada, indicando a natureza

plutônica dos corpos intrusivos. Por outro lado, as fácies metamórficas desenvolvidas nas auréolas de contato, do tipo albíta-epidoto-hornfels e mais raramente hornblenda-hornfels são diagnósticos de condições epizonais de cristalização, da mesma forma que a presença de granófiros, praticamente exclusivos de plutões de epizona, Buddington, (1959).

2.3.1.4.4 - Cenozoico (*Paleógeno – Neoceno*)

Depósitos Colúvios-Eluviais - NQc

Esta unidade apresenta-se exposta em toda a área, constituindo de sedimentos não consolidados, que vai de areno-argilosos a arenosos e siltsosos, com pedregulhos e fragmentos da rocha ardosiana, e em imagens de radar são bem caracterizadas, por serem densamente florestados quando intacta e intensamente cultivadas.

Segundo observação de campo, pode-se constatar que estas coberturas apresentam modos de ocorrência e origem diferentes. Nos amplos vales confinados por cristas quartzíticas, próximos aos flancos da Ibiapaba, distribuem-se pequenas mesetas profundamente dissecadas, que representam testemunhos de uma cobertura contínua, condicionada a áreas de posicionamento topográfico específico.

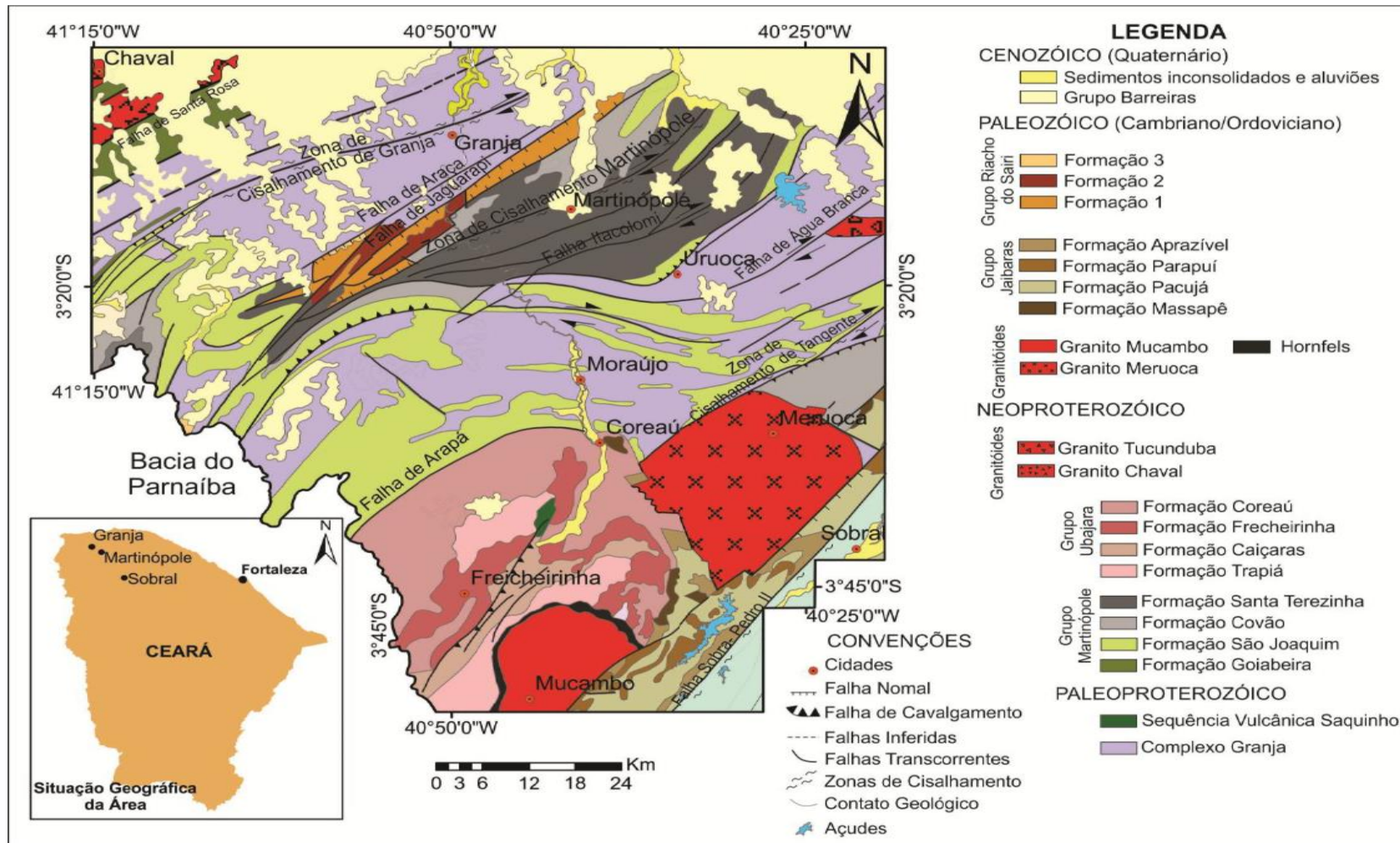
Litologicamente são formadas por materiais detríticos extremamente heterogêneo, incluindo blocos e calhaus angulosos de rochas, geralmente quartzitos e migmatitos, dispersos em matriz argilo-arenosa, impura, oriundas do desmonte das escarpas confinantes dos vales. São comuns, em algumas áreas, blocos de arenitos da Formação Serra Grande. Na área do barramento encontra-se fragmentos da rocha ardosiana em meio a uma matriz areno-argilosa.

Depósitos Aluvionares – Q2a

Ocorre ao longo dos leitos de rio e rochas recobrimo rochas mais antigas, constitui-se de sedimentos não consolidados composto de areias, cascalhos e níveis de argila, Estes sedimentos por vezes ocorrem em extensos terraços inundáveis nos períodos de enchentes.

A **Figura 2.22**, apresentada a seguir mostra o mapa geológico regional.

Figura 2.22 - Mapa Geológico Regional do Domínio Médio Coreaú, NW do Estado do Ceará



Fonte: modificado.

2.3.1.5 - Geologia Local

Aspectos Geológicos

O sítio do barramento Frecheirinha é formado essencialmente por rochas pertencentes ao Grupo Ubajara (NPu): unidade metassedimentar (HASUI, 2012) de idade neoproterozoica (~635-850 Ma) que ocorre nos setores leste e sudeste da área, ocupando majoritariamente a porção SO do graben Ubajara-Jaibaras, delimitado ao sul pelo granitoide Mucambo e composto pelas seguintes formações: Trapiá (NPut): formação basal, composta por quartzitos conglomeráticos; Caiçaras (NPuca): composta por ardósias vermelhas e roxo-avermelhadas e cristas de metarenitos, provenientes do metamorfismo de baixo grau (IBGE, 1999); Frecheirinha (NPuf): formada por calcários que distribuem-se em faixas irregulares na região compreendida entre a vertente leste da Ibiapaba e o maciço da Meruoca. Compõem os relevos calcários (cones cársticos e a gruta de Ubajara) da região; Coreau (NPuc): formação superior e de maior área aflorante.

Além dessas formações, tem-se os termometamorfitos (NPutm), originados no período em que o grupo Ubajara foi cortado por intrusões graníticas e granodioríticas do granitoide Mucambo, resultando em suas áreas de contato no desenvolvimento dos termometamorfitos, derivados de litotipos das Formações Trapiá, Frecheirinha e Coreau (CPRM, 2003). São zonas de transformação por metamorfismo de contato, que transiciona para as rochas não metamorfizadas da mesma unidade.

No sítio do barramento, especificamente nas ombreiras, é caracterizada pela presença de metarenitos, que se apresentam como cristas alinhadas, testemunhos isolados (afloramentos) e ao longo do eixo entre as estacas 0 a 5 e 28 a 45, como zonas de talus, sob a forma de blocos e matacões rolados com tamanhos que variam de centímetros a metros, ver **Figura 2.23**.

Na ombreira esquerda, o afloramento de metarenito ocorre deslocado para jusante em cerca de 50 m da estaca 0+0,00, enquanto na ombreira direita, ocorre deslocado ligeiramente para montante, conforme cristas alinhadas segundo a direção N30° com mergulhos bastante inclinados 80-90°, sub-verticalizados.

Figura 2.23– Presença de Afloramentos de Metarenitos



Na ombreira direita (foto à esquerda) e eixo entre as estacas 28 e 45, zona de Talus (foto à direita)

Se os metarenitos aflorantes nas ombreiras pertencerem a Formação Caiçaras, são representados por pacotes de ortoquartzitos com espessuras que variam de centímetros até dezenas de metros de espessura, de cores claras ou impregnadas de óxido de ferro, frequentemente recristalizadas, e cortados por veios de sílica. Esta interpretação torna-se plausível quando sondagens realizadas nos dois eixos vertedouros e localizadas em selas topográficas e entre afloramentos, nenhuma passagem pelo metarenito foi registrada.

Por outro lado, a Formação Trapiá passa gradualmente para as ardósias vermelhas com metarenitos intercalados da Formação Caiçaras. Nestes afloramentos as ardósias mergulham sob os arenitos filíticos Trapiá, insinuando posicionamento estratigráfico inverso. Trata-se, contudo, de um exemplo de inversão tectônica ao longo de uma sinclinal inversa da qual ambas as formações participam. Esta inversão ocorre nas proximidades da intrusão granítica do Mucambo.

Sob o ponto de vista do ambiente de sedimentação, a Formação Caiçaras deve ser analisada conjuntamente com a unidade basal do Grupo, a Formação Trapiá. De

acordo com a interpretação adotada, as ardósias vermelhas e metarenitos da Formação Caiçaras são considerados, pelo menos em parte, contemporâneos daquela unidade, e representam a sedimentação distal das primeiras fases de preenchimento da fossa.

A estratigrafia regional onde a Formação Caiçaras se sobrepõe a Formação Trapiá foi defendida por Costa et.al. (1979), Sá et. al. (1979), Nascimento et. al. (1981) e Gorayeb et. al. (1988).

Há ainda a possibilidade do corpo quartzítico ter origem da metamorfização da camada de arenitos grosseiros da Formação Trapiá, sobrejacentes a Formação Caiçaras, com ocorrência tabular, e que teve sua estrutura arrasada pelas intempéries ocasionadas pelas cheias do rio, preservando os testemunhos nas duas ombreiras, ver **Figura 2.24**. Esta estratigrafia cuja Formação Trapiá se situa sobrejacente a Formação Caiçaras foi defendida somente por Rackspacher et. al. (1988).

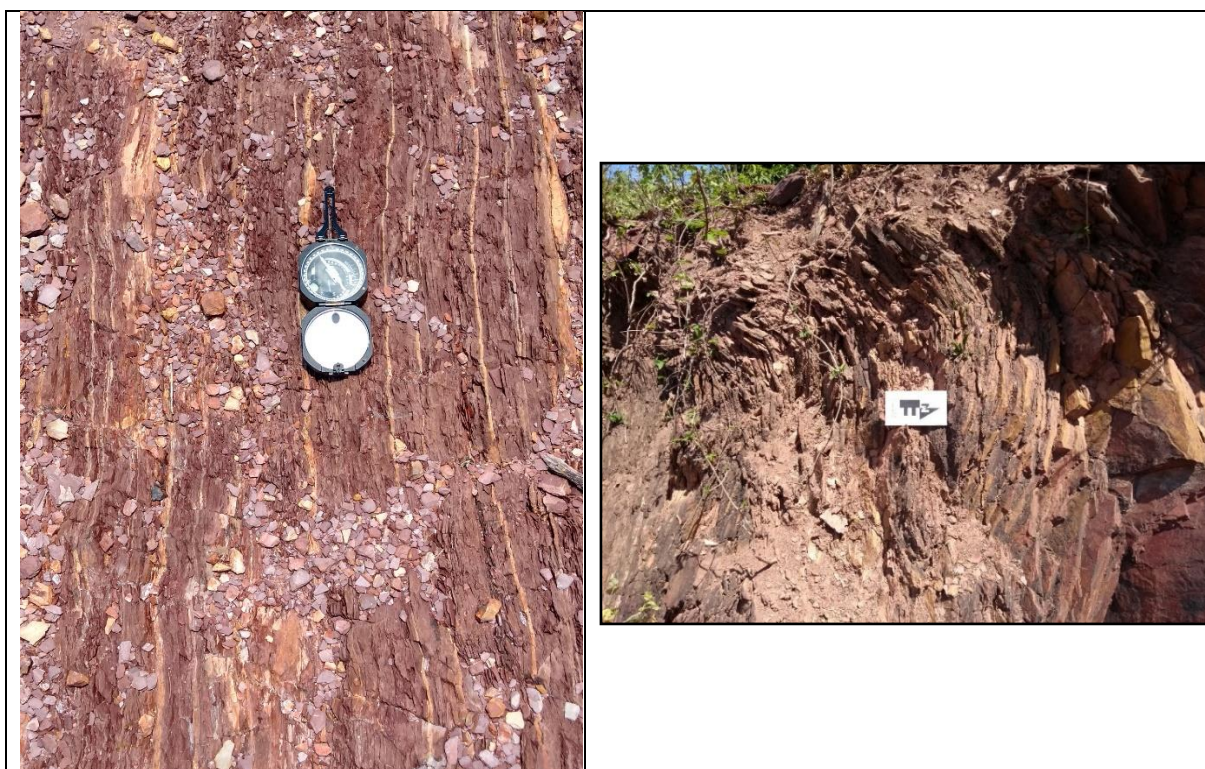
Figura 2.24 – Presença de Afloramento de Quartzito



Na ombreira direita, a jusante da estaca 32+00 (foto à esquerda); Zona de Talus (foto à direita) no eixo nas proximidades das estacas 30 e 31

As ardósias pertencentes a Formação Caiçaras se apresenta ao longo da estrada vicinal, ver **Figura 2.25**, mais a montante pela margem esquerda do rio e em outra estrada vicinal a leste da ombreira direita. No eixo do barramento não são evidenciados afloramentos, estando completamente encobertas por solos aluvionares. As ardósias se apresentam na forma de corpos rochosos de coloração avermelhada, por vezes amarronzadas. Apresentam-se dobradas, onde sua orientação se dá na direção N30° com mergulhos que variam de sub-verticais e horizontais, concordantes em sua correlação estrutural com a ocorrência dos quartzitos.

Figura 2.25 – Presença de Afloramento de Ardósias nas Proximidades do Eixo



Na estrada vicinal que margeia o flanco oposto da ombreira direita (foto à esquerda) e detalhe para o sistema de dobramento da ardósia, estrada vicinal que margeia o lado esquerda do riacho caiçaras (foto à direita)

Não foram evidenciados afloramentos de ardósias ao longo do eixo, encontrando-se sobrepostas por solo de alteração das mesmas e solos aluvionares.

Figura 2.26 - Cobertura Sedimentar no Eixo, formada por solos de Alteração das Ardósias



As aluviões se restringem a calha principal do riacho Caiçaras, composta por areias finas, médias e grossas, de coloração cinza, com seixos arredondados e sub ângulos de quartzitos e arenitos.

Figura 2.27 – Presença de Areias no Leito do Riacho Caiçaras



Vista da Calha do riacho Caiçaras composta por areias finas, médias e grossas com seixos arredondados e sub angulosos

As margens do riacho são constituídas por aluviões formadas por silte-areno argiloso, de coloração cinza amarronzada.

Figura 2.28 – Presença de solos Aluviais na Calha do Riacho Caiçaras



Barranco nas margens do Riacho Caiçaras formados por aluviões compostos por silte-areno argiloso.

2.3.2 - INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS NOS LOCAIS DAS OBRAS

2.3.2.1 - Investigação nos Locais do Barramento

2.3.2.1.1 - *Sondagens Realizadas*

Os estudos geotécnicos realizados da Barragem Frecheirinha foram constituídos pela realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento, aos ensaios *in situ* executados nestas prospecções. Além disso, foram realizadas investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando à concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Os resultados das investigações geotécnicas estão apresentados no Volume I - Estudos Básicos, Tomo 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos - Anexos.

Foram realizadas 28 prospecções mecânicas distribuídas ao longo da região dos três eixos estudados para o barramento. No Eixo 01 (adotado) foram realizadas 15 prospecções mecânicas, sendo 6 sondagens à percussão, 7 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa) e 2 sondagens mistas inclinadas (com inclinação de 45°). No Eixo 02 foram realizadas 5 prospecções, sendo todas à percussão. Já no Eixo 03, foram realizadas 8 sondagens, sendo 6 à percussão e 2 à trado. A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na **Figura 2.29**, apresentada a seguir.

Todos os furos de sondagem foram referenciados aos eixos topográficos implantados e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Volume I - Estudos Básicos, Tomo 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

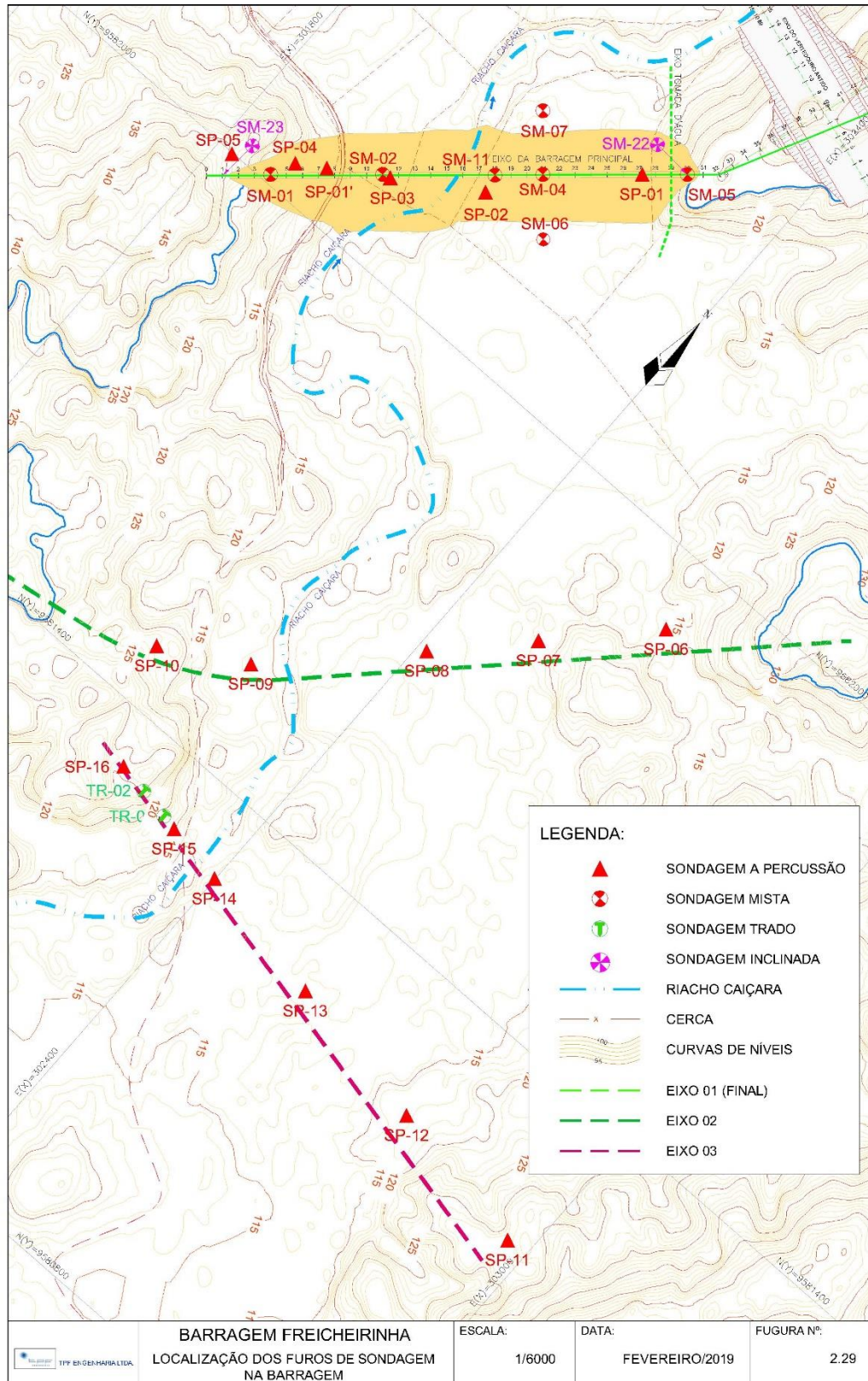
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho onde foram realizadas perfurações com sonda rotativa, estes testes consistiram de ensaios de perda d'água sob pressão (LUGEON).

2.3.2.1.2 - Sondagens à Percussão

As sondagens à percussão na área dos três eixos de barramento estudados totalizaram 53,92m, representando uma espessura média de 3,17m de solo penetrável a tal ferramenta.

No **Quadro 2.8**, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas executadas nos eixos investigados. Suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

Figura 2.29 - Localização dos Furos de Sondagem na Barragem



Quadro 2.8 - Eixos da Barragem Frecheirinha - Sondagens à Percussão Executadas – SPT

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
Eixo 01							
SP-01	Eixo 01	302.224,23	9.582.315,77	112,652	4,80	17	Areia siltosa, média a fina, mediamente compacta
	Eixo Est 27 e 28						
SP-02	Eixo 01	302.091,48	9.582.170,67	114,132	1,45	9	Areia siltosa, média a fina, mediamente compacta
	Montante Est 17 e 18						
SP-03	Eixo 01	301.990,36	9.582.106,05	113,994	5,75	12	Areia pouco argilosa, média a fina, mediamente compacta
	Eixo Est 11 e 12						
SP-04	Eixo 01	301.889,24	9.582.041,43	118,056	4,60	32	Areia siltosa compacta
	Jusante Est 5 e 6						
SP-05	Eixo 01	301.821,83	9.581.998,35	135,347	1,45	35	Areia compacta
	Jusante Est 1 e 2						
SP-01'	Eixo 01	301.922,95	9.582.062,97	112,652	6,03	5	Silte argiloso
	Jusante Est. 7 e 8						
Eixo 02							
SP-06	Eixo 02	302.619,28	9.581.908,84	113,931	1,80	19	Areia siltosa, média a fina, rija
	Jusante Est. 46 e 47						
SP-07	Eixo 02	302.508,77	9.581.793,13	114,396	1,95	38	Areia siltosa, média a fina, dura
	Jusante Est. 38 e 39						
SP-08	Eixo 02	302.412,08	9.581.691,89	114,891	5,70	17	Areia siltosa, média a fina, rija
	Jusante Est. 31 e 32						
SP-09	Eixo 02	302.257,67	9.581.535,36	112,947	5,60	14	Areia siltosa, média a grossa, mediamente compacta
	Jusante Est. 20 e 21						
SP-10	Eixo 02	302.154,23	9.581.475,42	124,842	1,05		Argila fina avermelhada dura e Rocha alterada Ardósia dura
	Jusante Est. 14 e 15						
Eixo 03							
SP-11	Eixo 03	302.970,70	9.581.205,85	127,447	1,45	45/10	Areia, muito compacta
	Eixo Est. 55 e 56						
SP-12	Eixo 03	302.773,60	9.581.239,82	118,315	0,49	45/11	Ardósia pouco alterada
	Eixo Est. 45 e 46						
SP-13	Eixo 03	302.576,51	9.581.273,79	113,519	3,40	8	Areia siltosa, média a fina, pouco compacta
	Eixo Est. 35 e 36						
SP-14	Eixo 03	302.399,12	9.581.304,36	115,434	6,50	6	Argila pouco arenosa, média
	Eixo Est. 26 e 27						
SP-15	Eixo 03	302.320,29	9.581.317,95	116,122	1,45	50/10	Alteração de rocha a Ardósia pouco alterada, muito compacta
	Eixo Est. 22 e 23						
SP-16	Eixo 03	302.221,74	9.581.334,94	130,599	0,45	50/10	Alteração de rocha a Ardósia pouco alterada, muito compacta
	Eixo Est. 17 e 18						

2.3.2.1.3 - Sondagens à Trado

No **Quadro 2.9**, a seguir são relacionadas as sondagens à trado, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por meio do trado, e a descrição do solo predominante. Somente no Eixo 03 das Alternativas, foram executadas 2 sondagens à trado, totalizando 0,95m.

Quadro 2.9 - Eixos da Barragem Frecheirinha - Sondagens à Trado Executadas

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	Solo Predominante
		Este (X)	Norte (Y)			
TR 01	Eixo 03	302.300,58	9.581.321,35	118,14	0,45	Alteração de rocha a Ardósia pouco alterada, muito compacta
	Eixo Est. 21 e 22					
TR 02	Eixo 03	302.261,16	9.581.328,14	123,20	0,50	Alteração de rocha a Ardósia pouco alterada, muito compacta
	Eixo Est. 19 e 20					

2.3.2.1.4 - Sondagens Mistadas

No local do eixo da barragem adotado (Eixo 01), foram executadas 9 sondagens mistas, das quais 7 são sondagens verticais e 2 são sondagens inclinadas a 45°, totalizando 262,95m.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa HX de diamante acoplada a um barrilete duplo. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

No **Quadro 2.10**, a seguir são relacionadas as sondagens mistas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

Quadro 2.10- Eixos da Barragem Frecheirinha - Sondagens Mistadas Executadas

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)	Percussão	Rotativa		
SM 01	4+00	301.875,14	9.582.010,70	4,15	28,85	60	Ardósia da formação Caiçaras
SM 02	11+00	301.980,60	9.582.102,78	4,50	28,50	40	Ardósia muito coerente a coerente
SM 04	21+00	302.131,25	9.582.234,33	6,10	29,00	36	Ardósia pouco coerente a coerente
SM 05	30+00	302.266,83	9.582.352,72	2,13	31,87	60	Ardósia mediamente coerente a muito coerente
SM 06	21+00(J)	302.184,53	9.582.173,94	5,92	27,23	6	Ardósia rocha sã
SM 07	21+00(M)	302.079,00	9.582.294,20	4,60	18,60	10	Ardósia pouco a muito alterada
SM 11	18+00	302.086,67	9.582.194,50	5,05	21,95	6	Ardósia pouco a muito alterada
SM 22 (inclinada)	30+00	302.266,83	9.582.352,72	0,00	20,00		Ardósia muito a extremamente alterada
SM 23 (inclinada)	1+00	301.831,11	9.581.970,25	0,00	24,50		Ardósia mediamente a muito alterada
TOTAL				32,45	230,50		

2.3.2.1.5 - Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, foram executados ensaios de perda de água sob pressão (ensaio LUGEON), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas no **Quadro 2.11**.

Os resultados dos ensaios de campo são apresentados no Volume I - Estudos Básicos, Tomo 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos – ANEXOS.

Quadro 2.11 - Eixos da Barragem Frecheirinha - Ensaios de Perda D'Água LUGEON

Furo	Estaca	Profundidade do Furo (m)	Profundidade do Obturador (m)	PE (l/min/m/kg/cm ²)	K
					(cm/s)
SM-01	4+00	6,00	3,00	1,280	1,34x10 ⁻⁴
		33,00	30,00	0,830	8,64x10 ⁻⁵
SM 02	11+00	18,00	15,00	0,320	1,79x10 ⁻⁵
		21,00	18,00	0,780	3,51x10 ⁻⁵
		24,00	21,00	0,350	3,62x10 ⁻⁵
		24,00	23,00	2,150	1,62x10 ⁻⁴
		27,00	24,00	1,210	6,80x10 ⁻⁵
		29,00	26,00	0,820	8,54x10 ⁻⁵
SM 05	30+00	6,00	3,00	0,680	6,20x10 ⁻⁵
		9,00	6,00	0,930	9,69x10 ⁻⁵
		12,00	9,00	0,290	2,52x10 ⁻⁵
		15,00	12,00	0,320	3,35x10 ⁻⁵
		24,00	21,00	0,960	5,43x10 ⁻⁵
SM 06	21+00(J)	33,00	30,00	0,220	1,90x10 ⁻⁵
		8,92	5,92	2,120	2,18x10 ⁻⁴
		11,92	8,92	2,760	1,86x10 ⁻⁴
		14,92	11,92	0,430	2,89x10 ⁻⁵
		17,92	14,92	0,360	2,31x10 ⁻⁵
		20,92	17,92	3,280	2,65x10 ⁻⁴
		23,92	20,92	2,720	2,03x10 ⁻⁴
		26,92	23,92	0,620	3,26x10 ⁻⁵
29,92	26,92	0,500	3,43x10 ⁻⁵		
SM 11	18+00	33,00	30,00	0,090	5,49x10 ⁻⁶
		11,00	8,00	0,780	6,07x10 ⁻⁵
		14,00	11,00	0,260	1,31x10 ⁻⁵
		17,00	14,00	0,500	2,80x10 ⁻⁵
		20,00	17,00	0,160	9,54x10 ⁻⁶
		23,00	20,00	0,050	9,62x10 ⁻⁷
SM 22	30+00	27,00	24,00	0,440	4,44x10 ⁻⁵
		9,00	6,00	0,490	4,39x10 ⁻⁵
		12,00	9,00	0,340	2,95x10 ⁻⁵
		15,00	12,00	0,320	2,61x10 ⁻⁵
		18,00	15,00	0,470	4,33x10 ⁻⁵
SM 23	1+00	20,00	17,00	0,530	4,72x10 ⁻⁵
		12,00	9,00	0,440	3,61x10 ⁻⁵
		15,00	12,00	0,280	2,41x10 ⁻⁵
		18,00	15,00	0,280	2,22x10 ⁻⁵
		21,00	18,00	0,490	3,87x10 ⁻⁵
		24,00	21,00	0,360	3,38x10 ⁻⁵

2.3.2.2 - Investigação nos Locais dos Vertedouros

2.3.2.2.1 - Sondagens Realizadas

Foram indicados, locados e estudados dois eixos alternativos para o sangradouro (vertedouro) da Barragem. Ao longo dos dois eixos, foram realizadas 10 sondagens mistas/rotativas. Foram executadas também, junto com as sondagens, 37 ensaios de perda de água sob pressão (ensaios LUGEON) nas 10 sondagens e em várias profundidades para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os resultados das investigações geotécnicas estão apresentados no Volume I - Estudos Básicos, Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos, nos Anexos.

As sondagens investigaram a faixa superficial e o maciço, desde uma profundidade mínima de 5,0m até uma profundidade máxima da ordem de 30,58 metros, suficiente para definição das obras do vertedouro.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas dos terrenos de cada furo levantadas através de nivelamento topográfico. A localização de todos os furos da campanha de sondagens está listada no **Quadro 2.12** e mostradas na **Figura 2.30**, apresentada a seguir.

Quadro 2.12 - Eixos dos Sangradouros Frecheirinha – Sondagens Mistas

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)	Percussão	Rotativa		
SM 16	Eixo 01 5+00	302.396,71	9.582.505,95	0,00	5,00		Ardósia medianamente a muito alterada
SM 17	Eixo 01 7+00	302.358,65	9.582.518,25	5,92	24,66	6	Ardósia pouco a medianamente alterada
SM 18	Eixo 01 11+00	302.282,53	9.582.542,84	0,00	23,60		Ardósia pouco a medianamente alterada
SM 19	Eixo 02 6+00	302.487,60	9.582.783,13	0,00	18,50		Ardósia pouco a medianamente alterada
SM 20	Eixo 02 11+00	302.389,85	9.582.778,10	0,00	16,70		Ardósia medianamente a muito alterada
SM 21	Eixo 02 7+00	302.468,50	9.582.788,60	0,00	15,50		Ardósia muito a extremamente alterada
SR 22	Eixo 02 13+00-E	302.359,51	9.582.734,46	0,00	17,00		Ardósia medianamente a muito alterada
SR 23	Eixo 02 13+00-D	302.342,58	9.582.802,38	0,00	17,00		Ardósia pouco a medianamente alterada
SR 24	Eixo 02 18+00	302.254,01	9.582.744,23	0,00	9,00		Ardósia medianamente a muito alterada
SR 25	Eixo 02 23+00	302.156,98	9.582.720,04	0,00	7,00		Ardósia pouco a medianamente alterada
TOTAL				5,92	153,96		

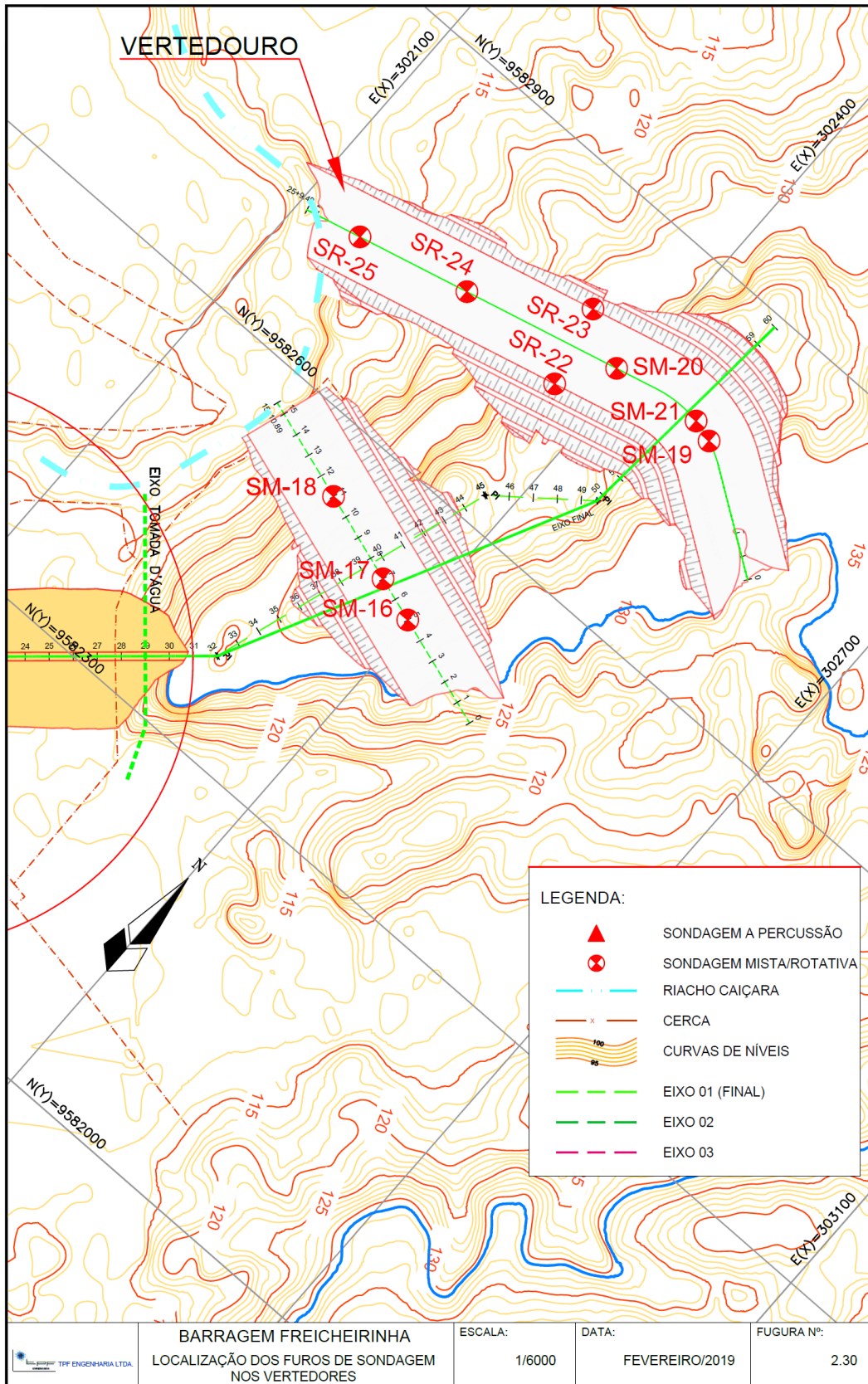
2.3.2.2.2 - Ensaios de Campo

Foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio LUGEON), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas, também, no **Quadro 2.13**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no Tomo 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos), dos Estudos Básicos.

Quadro 2.13 - Eixos dos Sangradouros Frecheirinha – Ensaios de Campo (LUGEON)

Furo	Estaca	Profundidade do Furo (m)	Profundidade do Obturador (m)	PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
SM-16	Eixo 01	5,00	2,00	0,92	9,64x10 ⁻⁵
	5+00				
SM 17	Eixo 01	10,73	7,73	0,88	9,16x10 ⁻⁵
	7+00	12,95	9,95	0,48	5,06x10 ⁻⁵
		16,40	13,40	0,42	2,90x10 ⁻⁵
		26,07	23,07	-8,64	-1,70x10 ⁻⁴
		27,58	30,58	0,22	2,27x10 ⁻⁵
SM 18	Eixo 01	12,00	9,00	0,59	6,14x10 ⁻⁵
	11+00	15,00	12,00	0,61	4,27x10 ⁻⁵
		21,00	18,00	0,47	4,90x10 ⁻⁵
		23,60	20,60	0,26	2,27x10 ⁻⁵
SM 19	Eixo 02	9,00	6,00	0,02	9,36x10 ⁻⁷
	6+00	12,00	9,00	0,06	4,27x10 ⁻⁶
		15,00	12,00	0,03	1,87x10 ⁻⁶
		18,00	15,00	0,02	1,81x10 ⁻⁶
SM 20	Eixo 02	9,00	6,00	0,06	3,55x10 ⁻⁶
	11+00	12,00	9,00	0,05	2,94x10 ⁻⁶
		15,00	12,00	0,06	3,41x10 ⁻⁶
SM 21	Eixo 02	8,00	5,00	0,13	1,01x10 ⁻⁵
	7+00	12,00	9,00	0,09	6,43x10 ⁻⁶
		15,00	12,00		
SR 22	Eixo 02	3,00	0,00	2,89	2,92x10 ⁻⁴
	13+00 (E)	6,00	3,00	1,23	1,15x10 ⁻⁴
		9,00	6,00	0,44	3,46x10 ⁻⁵
		12,00	9,00	0,32	2,59x10 ⁻⁵
		15,00	12,00	0,17	1,38x10 ⁻⁵
17,00	15,00	0,14	8,43x10 ⁻⁶		
SR 23	Eixo 02	3,00	0,00	1,65	1,56x10 ⁻⁴
	13+00 (D)	6,00	3,00	0,85	7,72x10 ⁻⁵
		9,00	6,00	0,43	4,10x10 ⁻⁵
		12,00	9,00	0,43	3,40x10 ⁻⁵
		15,00	12,00	0,60	5,32x10 ⁻⁵
17,00	15,00	0,65	5,83x10 ⁻⁵		
SR 24	Eixo 02	3,00	0,00	2,32	2,43x10 ⁻⁴
	18+00	6,00	3,00	0,56	5,36x10 ⁻⁵
		9,00	6,00	0,49	4,24x10 ⁻⁵
SR 25	Eixo 02	3,00	0,00	1,02	7,52x10 ⁻⁵
	23+00	6,00	3,00	0,13	1,33x10 ⁻⁵
		7,00	6,00	0,31	1,78x10 ⁻⁵

Figura 2.30 - Localização dos Furos de Sondagem nos Vertedouros



2.3.2.3 - Análise das Campanhas de Sondagens

Foram utilizadas no campo as seguintes formas de investigação:

- sondagens a trado;
- sondagens a percussão;
- sondagens mistas (iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa);
- ensaios de perda d'água sob pressão, em rocha.

As sondagens a percussão foram executadas segundo os procedimentos recomendados nas normas brasileiras da ABNT, seguindo as orientações da NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo.

Nos trechos de sondagem a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi empregado o trado tipo “concha” de DN=4” e ao encontrar-se material impenetrável à ferramenta o furo foi revestido e prosseguido por lavagem. Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de DN=2” e DN=1 3/8”, de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Nos locais onde a camada resistente, ou rocha, ocorre muito próxima da superfície, a sondagem foi executada a trado até o impenetrável, tendo sido deslocada duas vezes de forma triangular, a uma distância de aproximadamente 3,0 m do primeiro furo, para confirmação da profundidade.

Nos trechos de sondagem rotativa utilizou-se uma perfuratriz hidráulica GY 200, com sistema wireline, para perfurar a partir da profundidade atingida pela sondagem percussiva, ou seja, a partir do impenetrável a esse método, até atingir a profundidade estabelecida pelo contratante. Para extração das amostras foi utilizado o barrilete duplo de diâmetro NW, com padrão de 75,64 mm e 54,73 mm de diâmetros externo e interno.

Para cada operação do barrilete foi registrada número de peças de testemunhos por metro, seguindo trechos de mesmo padrão de faturamento (frequência de fraturas), com respectivo IQR ou RQD (índice de qualidade de rocha), que consiste na somatória dos testemunhos de rochas iguais ou maiores que 10 cm dividida pelo comprimento total do trecho, expressa em %; dados que estão indicados nos perfis de sondagem em anexo.

2.3.3 - ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 10 jazidas de solos, quatro areais e uma pedreira, ver as **Figuras 2.31 e 2.32** com a localização das Jazidas de materiais para construção da Barragem, ver croqui das jazidas no Anexo I deste relatório.

2.3.3.1 - Jazidas de Solos

Num raio de 5km do local escolhido para Barragem Frecheirinha, e localizadas nas margens do Riacho Caiçara, foram identificadas 10 jazidas de solos areno-argilosos, com pouco ou sem fragmentos rochosos. Estas jazidas estão caracterizadas no **Quadro 2.14** apresentado a seguir.

Quadro 2.14 – Características Geométricas e Volumétricas das Jazidas Estudadas

JAZIDAS	Área da Jazida (m ²)	Área da Jazida (ha)	Volume do Espurgo (m ³)	Volume Bruto (m ³)	Volume Útil da Jazida (m ³)	Distância média para o eixo da Barragem (km)	Percentual de Aproveitamento (%)
Jazida J-01	40.000,00	4,00	6.000,00	32.400,00	27.600,00	3,71	85,19%
Jazida J-02	87.500,00	8,75	13.125,00	80.500,00	72.625,00	2,41	90,22%
Jazida J-03	40.000,00	4,00	6.000,00	40.800,00	38.800,00	2,31	95,10%
Jazida J-04	135.000,00	13,50	20.250,00	137.700,00	129.600,00	3,32	94,12%
Jazida J-05	140.000,00	14,00	21.000,00	128.800,00	128.800,00	4,47	100,00%
Jazida J-06	135.000,00	13,50	20.250,00	112.050,00	106.650,00	4,26	95,18%
Jazida J-07	207.500,00	20,75	31.125,00	230.325,00	226.175,00	4,11	98,20%
Jazida J-08	40.000,00	4,00	6.000,00	36.400,00	34.800,00	0,10	95,60%
Jazida J-09	60.000,00	6,00	9.000,00	57.000,00	54.000,00	0,22	94,74%
Jazida J-10	300.000,00	30,00	45.000,00	318.000,00	318.000,00	0,45	100,00%
TOTAIS	1.185.000,00	118,50	177.750,00	1.173.975,00	1.137.050,00		

Figura 2.31 - Localização das Jazidas de Materiais para Construção da Barragem

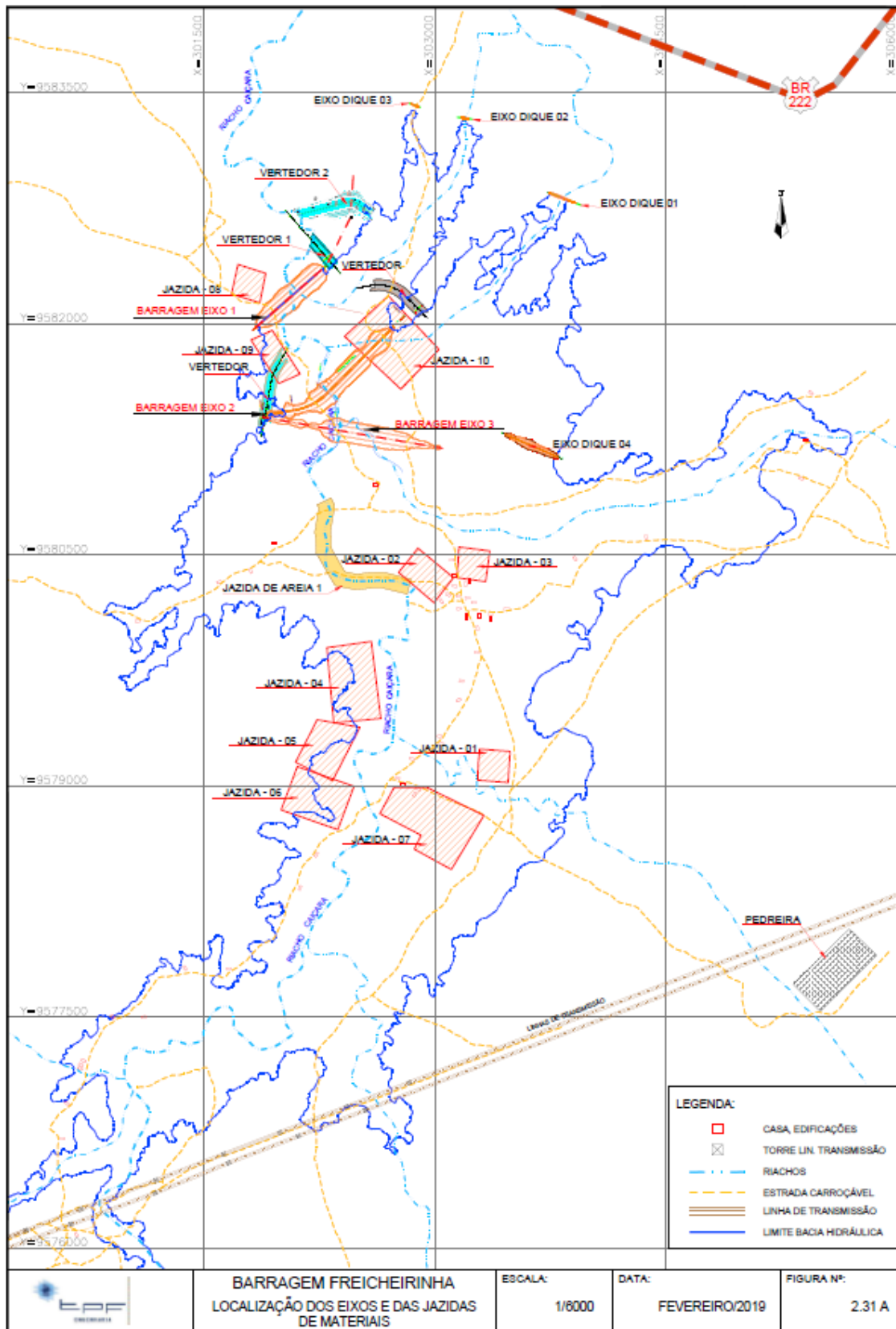
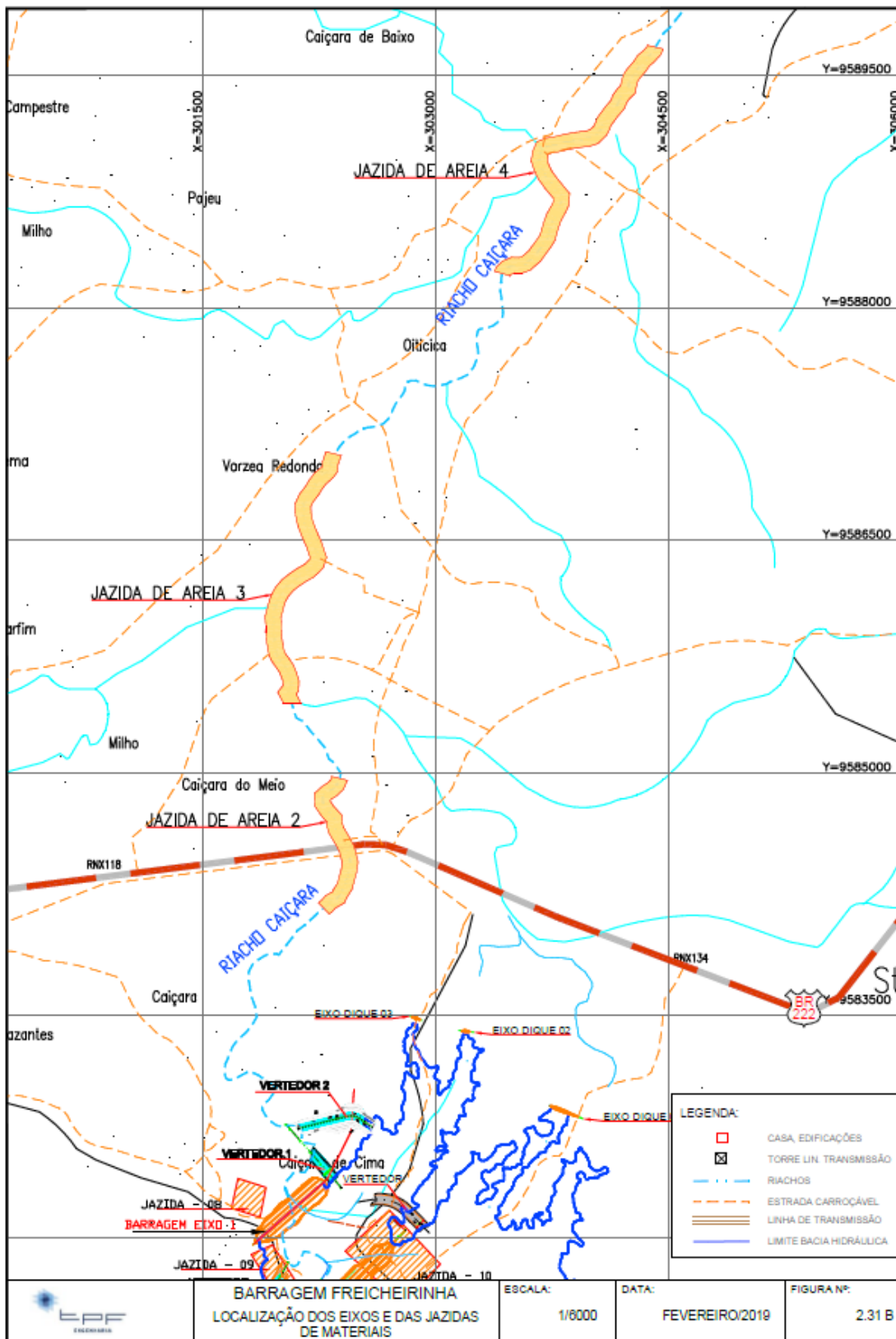


Figura 2.32 - Localização das Jazidas de Materiais para Construção da Barragem



As jazidas que serão utilizadas são as que estão mais próximas do sítio da barragem a ser construída, bem como dos três diques de fechamento da bacia hidráulica. Como os volumes necessários de solos para aterros são: maciço e “cut-off” de cerca de 450.000m³ e para os diques de, aproximadamente, 9.000 m³ com total de 459.000 m³ e o volume total utilizável das jazidas é bem superior, cerca de 1.080.000 m³. As jazidas a serem utilizadas na execução das obras, na ordem da menor para maior distância, estão hierarquizadas no **Quadro 2.15** apresentado a seguir. Para elaboração deste quadro foram usados os seguintes critérios:

- O Volume Líquido utilizável de cada jazida, com material sem raízes e matéria orgânica, foi obtido considerando o produto da área da jazida vezes a altura média útil observada e medida nos perfis de solos dos poços de inspeção;
- Aproveitamento 80% por considerar a densidade “in situ” menor que o solo compactado nas praças de terraplenagem das obras.

Quadro 2.15 – Hierarquização das Jazidas a serem utilizadas

JAZIDAS	Distância média para o eixo da Barragem (km)	Área da Jazida (m ²)	Prof. Média (m)	Volume Bruto (m ³)	Profundidade Média Útil (m)	Volume Líquido da Jazida	Fator de Compactação: Solo "in situ" para Compactado	Volume Compactado (m ³)	Volume Compactado Acumulado (m ³)
Jazida J-08	0,10	40.000,00	0,91	36.400,00	0,87	34.800,00	0,80	27.840,00	27.840,00
Jazida J-09	0,22	60.000,00	0,95	57.000,00	0,90	54.000,00	0,80	43.200,00	71.040,00
Jazida J-10	0,45	300.000,00	1,06	318.000,00	1,06	318.000,00	0,80	254.400,00	325.440,00
Jazida J-03	2,31	40.000,00	1,02	40.800,00	0,97	38.800,00	0,80	31.040,00	356.480,00
Jazida J-02	2,41	87.500,00	0,92	80.500,00	0,83	72.625,00	0,80	58.100,00	414.580,00
Jazida J-04	3,32	135.000,00	1,02	137.700,00	0,96	129.600,00	0,80	103.680,00	518.260,00
Jazida J-01	3,71	40.000,00	0,81	32.400,00	0,69	27.600,00	0,80	22.080,00	540.340,00
Jazida J-07	4,11	207.500,00	1,11	230.325,00	1,09	226.175,00	0,80	180.940,00	721.280,00
Jazida J-06	4,26	135.000,00	0,83	112.050,00	0,79	106.650,00	0,80	85.320,00	806.600,00
Jazida J-05	4,46	140.000,00	0,92	128.800,00	0,92	128.800,00	0,80	103.040,00	909.640,00
TOTAIS		1.185.000,00		1.173.975,00		1.137.050,00		909.640,00	909.640,00
<= Jazidas a serem utilizadas									

Para análise dos solos das 10 Jazidas identificadas, foram realizados poços de inspeção, localizados em malha de pontos representativos das jazidas, de onde foram coletadas amostras que foram submetidas em laboratório a uma campanha de ensaios geotécnicos que estão no **Quadro 2.16** apresentado a seguir e que seguiram aos procedimentos das normas citadas:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64);
- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63);
- Compactação – Proctor Normal (DNER-ME 48-64);
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64).

Quadro 2.16 – Tipos e Quantidades dos Ensaio Realizados em Laboratório e na Jazida

Nº DE ORDEM	ENSAIOS	JAZIDAS DE SOLOS										TOTAL
		J-1	J-2	J-3	J-4	J-5	J-6	J-7	J-8	J-9	J-10	
1	CBR - Índice Suporte California	5	6	6	7	6	4	13	4	3	10	4
2	Ensaio de Compactação	12	12	12	24	20	20	20	10	12	24	166
3	Densidade "In Situ"	6	6	8	8	9	9	9	9	9	9	82
4	Granulometria por Peneiramento	12	12	12	24	20	20	20	10	12	23	165
5	Limites de Liquidez LL	12	11	11	20	18	13	18	10	9	20	142
6	Limite de Plasticidade LP	12	11	11	20	18	13	18	10	9	20	142
7	Resistência ao Cisalhamento Direto	1		1		1		1			1	5
8	Granulometria por Sedimentação	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20
9	Permeabilidade com Carga Variável	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20
10	Ensaio Triaxial UU (Não Consolidado)	1		1		1					1	4
11	Ensaio Triaxial CIU (Consolidado)	1		1				1		1	1	5
12	Ensaio de Limite de Consistência	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
13	Determinação da Expansibilidade	3		2		1		1		1	2	10
	TOTAL DE ENSAIOS	70	63	70	108	99	84	106	58	61	116	835

No **Quadro 2.17** são apresentados em resumo os resultados médios destes ensaios realizados. No relatório dos Estudos Geológicos e Geotécnicos, Tomo 4 e Tomo 4A, Volume I - Estudos Básico da Etapa A2, são apresentados todos os boletins com a classificações dos materiais coletados nas jazidas e os respectivos resultados dos ensaios realizados.

Pela Classificação Unificada de Solos, em geral a maioria dos solos das jazidas estudadas foram classificados como SC, areia argilosa, e num número menor de amostras SM, areia siltosa e, em ambos, o percentual de finos apresentou-se maior que 12%.

Em geral estes solos quando compactados:

- São semi-impermeáveis a impermeáveis;
- Apresentam uma boa à razoável resistência ao corte;
- Quando saturados, possuem uma baixa compressibilidade;
- Apresentam uma razoável trabalhabilidade como material de construção de barragens.

Quadro 2.17 – Resumo dos Ensaio das Amostra dos Materiais das Jazidas

JAZIDAS ESTUDADAS		J-01	J-02	J-03	J-04	J-05	J-06	J-07	J-08	J-09	J-010	
NÚMERO DE FUROS ENSAIADOS		12	12	12	24	20	20	20	10	12	24	
PROFUNDIDADE MÉDIA	DE	0,15	0,10	0,05	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,00	
	(m)	ATÉ	1,20	1,30	1,30	2,00	1,50	1,30	1,50	1,10	1,30	
GRANULOMETRIA (VALORES MÉDIOS)												
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	98%	100%	100%	100%	99%	99%	98%	100%	100%	97%
		3/8"	90%	94%	98%	94%	92%	84%	92%	91%	92%	85%
		Nº 4	80%	85%	94%	88%	79%	69%	83%	83%	83%	74%
		Nº 10	72%	77%	87%	79%	67%	60%	75%	75%	74%	65%
		Nº 40	56%	59%	62%	57%	49%	45%	59%	53%	52%	50%
		Nº 200	37%	38%	38%	36%	34%	28%	36%	37%	35%	34%
LIMITES DE ATTERBERG (VALORES MÉDIOS)												
LL		35%	36%	35%	34%	33%	37%	35%	35%	36%	36%	
LP		24%	24%	23%	22%	22%	26%	24%	24%	25%	25%	
IP		11%	12%	12%	12%	12%	11%	11%	11%	12%	12%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S. (VALORES MÉDIOS)												
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC/SM	SC	SC	SC/SM	SC/SM	
COMPACTAÇÃO (VALORES MÉDIOS)												
HÓTIMA (%)		13,7	13,9	12,8	12,8	12,7	11,9	13,0	13,0	12,0	13,6	
D _{MÁX} (g/cm3)		1.830	1.816	1.866	1.869	1.837	1.859	1.812	1.848	1.845	1.855	

No relatório dos Estudos Geológicos e Geotécnicos, Tomo 4 e Tomo 4A, Volume I - Estudos Básico da Etapa A2, são também apresentadas as 25 sondagens do tipo pá e picareta (SPP) que foram executadas na área onde será implantado o vertedouro da Barragem Frecheirinha, que tinham como finalidade avaliar se os materiais provenientes destas escavações obrigatórias apresentam características para aplicação no talude de jusante do maciço.

O **Quadro 2.18** traz um resumo dos ensaios de caracterização realizados em 09 das 25 sondagens SPP, os quais indicam que na parte mais superficial do terreno com profundidade máxima de 2,00 m os materiais possuem características equivalentes aos materiais das jazidas estudadas, sendo em geral também do tipo SC e com granulometria média dentro da faixa de projeto.

Quadro 2.18 – Resumo dos Ensaios das Sondagens SPP no Vertedouro

SONDAGENS SPP		SPP-01	SPP-05	SPP-06	SPP-09	SPP-13	SPP-14	SPP-19	SPP-21	SPP-25	MÉDIA	
PROFUNDIDADE MÉDIA	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
(m)	ATÉ	1,65	1,30	1,60	1,20	1,60	1,50	1,50	0,60	2,00	1,60	
GRANULOMETRIA												
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		3/8"	90%	85%	89%	83%	89%	85%	92%	88%	91%	89%
		Nº 4	82%	77%	79%	74%	81%	78%	81%	79%	84%	79%
		Nº 10	74%	70%	70%	67%	72%	71%	74%	71%	74%	70%
		Nº 40	51%	52%	51%	48%	50%	52%	53%	51%	53%	51%
		Nº 200	32%	33%	32%	30%	31%	31%	33%	32%	30%	32%
LIMITES DE ATTERBERG												
LL		37%	37%	38%	36%	38%	35%	37%	36%	35%	37%	
LP		24%	26%	26%	24%	26%	25%	25%	24%	25%	26%	
IP		12%	11%	12%	12%	12%	10%	12%	12%	11%	11%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.												
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO (VALORES MÉDIOS)												
HÓTIMA (%)		11,8	12,1	13,5	13,1	12,2	12,1	12,1	13,3	12,2	12,2	
D _{MÁX} (g/cm ³)		1.796	1.762	1.733	1.807	1.744	1.745	1.765	1.786	1.777	1.821	

Dessa maneira, admite-se a aplicação dos materiais das escavações obrigatórias do vertedouro no talude de jusante do maciço da barragem, de modo que os materiais das escavações mais superficiais devem ser selecionadas e empregados na parte mais interna do talude imediatamente após o filtro vertical, enquanto os materiais das escavações mais profundas serão também selecionados e empregados na parte mais externa do talude de jusante.

Além dos ensaios geotécnicos em laboratório foram realizados os seguintes ensaios especiais nas Jazidas de solos:

- Densidade “In Situ”;
- Permeabilidade com Carga Variável;

- Cisalhamento Direto;
- Triaxial.

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o ensaio Triaxial não são normalizados, eles foram realizados utilizando-se de técnicas usuais.

No **Quadro 2.19** apresentado a seguir estão apresentados o resumo dos resultados dos ensaios de Permeabilidade com Carga Variável realizados em cada Jazida de solos.

Quadro 2.19 – Resultados dos ensaios de Permeabilidade com Carga Variável

JAZIDA	FURO	PERMEABILIDADE
J-1	1	5,70E-07
	7	9,80E-07
	MÉDIA	7,70E-07
J-2	7	6,40E-07
	11	5,40E-07
	MÉDIA	5,90E-07
J-3	4	4,70E-07
	6	4,90E-07
	MÉDIA	4,80E-07
J-4	2	7,60E-07
	11	3,60E-07
	MÉDIA	5,60E-07
J-5	7	6,80E-07
	18	5,30E-06
	MÉDIA	3,00E-06
J-6	5	9,20E-07
	10	1,10E-06
	MÉDIA	1,00E-06
J-7	10	8,30E-07
	25	6,20E-07
	MÉDIA	7,20E-07
J-8	5	4,80E-07
	9	9,10E-07
	MÉDIA	7,00E-07
J-9	8	3,20E-06
	11	2,80E-07
	MÉDIA	1,70E-06
J-10	15	6,30E-07
	27	5,10E-07
	MÉDIA	5,70E-07

2.3.3.2 - Jazidas de Materiais Pétreos

Para fonte de material pétreo destinado aos espaldares de enrocamentos e concretos, foi identificado um afloramento de rocha granítica sã, de coloração acinzentada, na localidade de Roça do Mato, próxima a Serra do Carmutim.

A pedreira fica situada no entorno do ponto de coordenadas UTM 305.671 e 9.577.824, com distância média de transporte de 6,75 Km à montante do eixo da barragem. Seu volume aflorante foi estimado em 41.683,26 m³.

Ensaio de Desgaste à Abrasão Los Angeles, realizados em amostras extraídas da superfície aflorante, indicaram valores de 35% a 39% (ver **Volume I - Estudos Básicos - Tomo 4 A- Anexos**).

2.3.3.3 - Jazidas de Materiais Arenosos

Os bancos de areia que ocorrem no leito do riacho Caiçara, a montante e a jusante do eixo da Barragem Frecheirinha, apresentam-se com uma granulometria fina a grossa. Os trabalhos de campo, que foram realizados com a escavação de poços de inspeção a pá e picareta, identificaram e localizaram quatro areais para suprir os volumes necessários para construção das obras, cuja estimativa das quantidades necessárias para utilização na construção da barragem (filtros) e confecção dos concretos somam, aproximadamente, 35.000 m³.

O **Quadro 2.20** apresentado a seguir mostra as coordenadas dos centros geométricos dos quatro areais estudados, também apresenta os volumes e as distancias, via estradas vicinais, destes para o eixo da Barragem Frecheirinha.

Quadro 2.20– Localização, Volumes e Distâncias dos Areais

AREAL	COORDENADAS		COMPRIMENTO TRECHO DO RIO (m)	VOLUME DA JAZIDA (m ³)	DISTÂNCIA AO EIXO BARRAGEM (m)
	LESTE (m)	NORTE (m)			
1	302.138	9.584.032	1.130,00	11.300,00	3.974,00
2	302.421	9.584.599	1.020,00	4.998,00	3.998,00
3	302.213	9.586.346	1.860,00	9.114,00	6.081,00
4	303.728	9.589.064	2.120,00	10.388,00	9.280,00
VOLUME TOTAL (m³)				35.800,00	

2.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

2.4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para a delimitação da bacia, utilizou-se as cartas topográficas da SUDENE em escala de 1:100.000, com curvas de nível a cada 40 metros, através da Folha cartográfica MI-680. Utilizando-se o AUTOCAD CIVIL 3D, foi gerado um modelo digital do terreno - MDT da área da bacia, com curvas altimétricas interpoladas a cada 10 metros, permitindo o traçado automático dos divisores de água e vetores de declividade das terras pertencentes à bacia. Além da delimitação topográfica, a área foi aferida e ajustada através da base de hidrografia unifilar disponibilizada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Na **Figura 2.33** é apresentado o traçado com a delimitação da bacia, em conformidade com a hidrografia unifilar. No **Quadro 2.21** apresentado a seguir mostra um resumo das características físicas da bacia.

Quadro 2.21 - Dados Físicos da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha

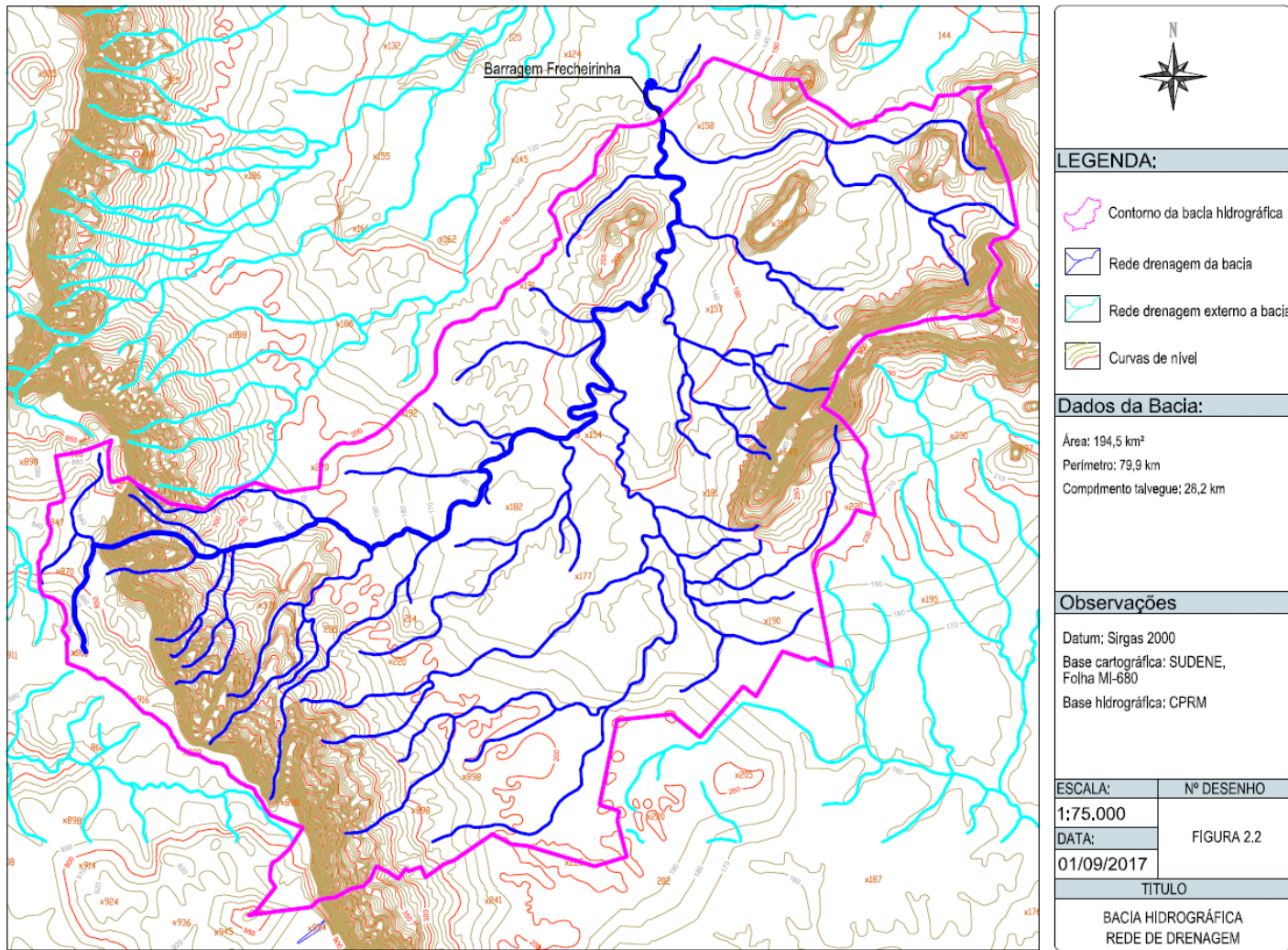
Área da bacia Hidrográfica (Km ²)	Perímetro da bacia Hidrográfica (Km)	Comprimento do Riacho Caiçara (km)	Cota do Talvegue à montante (m)	Cota do Talvegue à jusante (m)	Diferença de Nível (m)	Declividade Média (m/km)
198,50	82,10	28,90	962,00	113,00	849,00	30,00

Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia Hidrográfica da Barragem de Frecheirinha não é tão próximo de 1, o que indica uma bacia não muito sujeita a enchentes.

2.4.1.1 - Caracterização Física da Bacia

A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua para barragem. Vários índices podem ser utilizados para determinar as formas de uma bacia: O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto o fator de forma com o retângulo. Assim, cada bacia pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

Figura 2.33 - Mapa da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha



$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}}$$

Equação 2.1 - Fator de compacidade

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Equação 2.2 - Fator de forma

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Equação 2.3 - Tempo de concentração

Aplicando os dados do **Quadro 2.22** nas equações supracitadas, obtemos:

Quadro 2.22 - Dados Físicos da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha

Fator de Compacidade	Fator de Forma	Tempo de Concentração
0,24	1,64	3,56 Horas

2.4.1.2 - Caracterização Morfológica da Bacia Hidráulica

A caracterização morfológica da bacia hidráulica corresponde basicamente a determinação do diagrama cota x área x volume, fundamental para os estudos de cheia que serão apresentados posteriormente, ver **Figura 2.34** a seguir.

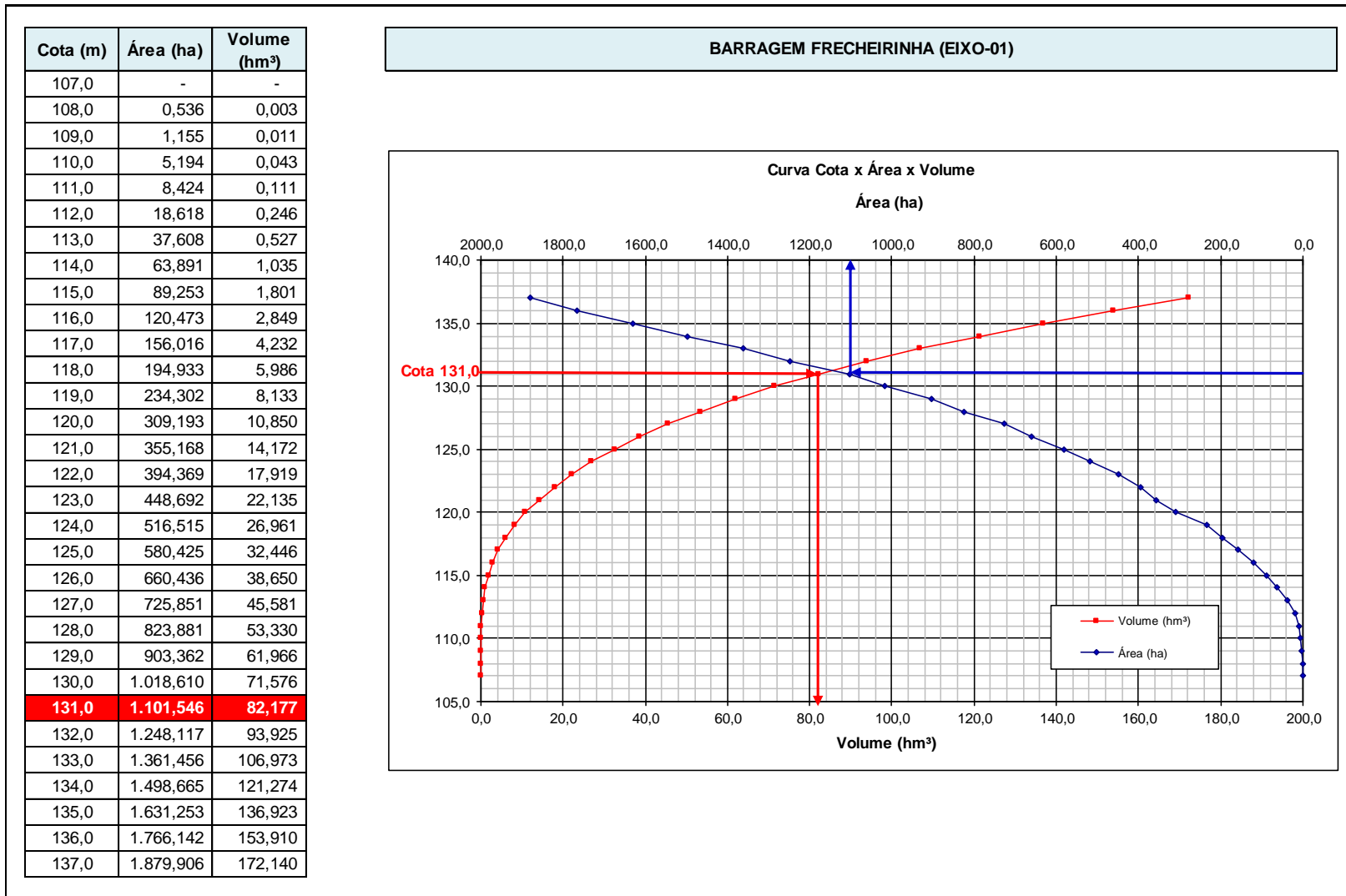
2.4.1.3 - Caracterização Climatológica

A região da bacia encontra-se sob um clima de acentuada evaporação, característica do Nordeste brasileiro, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões mais reduzidas, coincidentes com a época em que é mais acentuado o déficit hídrico regional.

2.4.1.3.1 - Temperatura

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12:00; 18:00 e 24:00 do tempo do meridiano de Greenwich – TMG, sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes. A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas na estação meteorológica, fazendo-se uso da fórmula da Organização Meteorológica Mundial - OMM.

Figura 2.34 - Curvas Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica da Barragem Frecheirinha



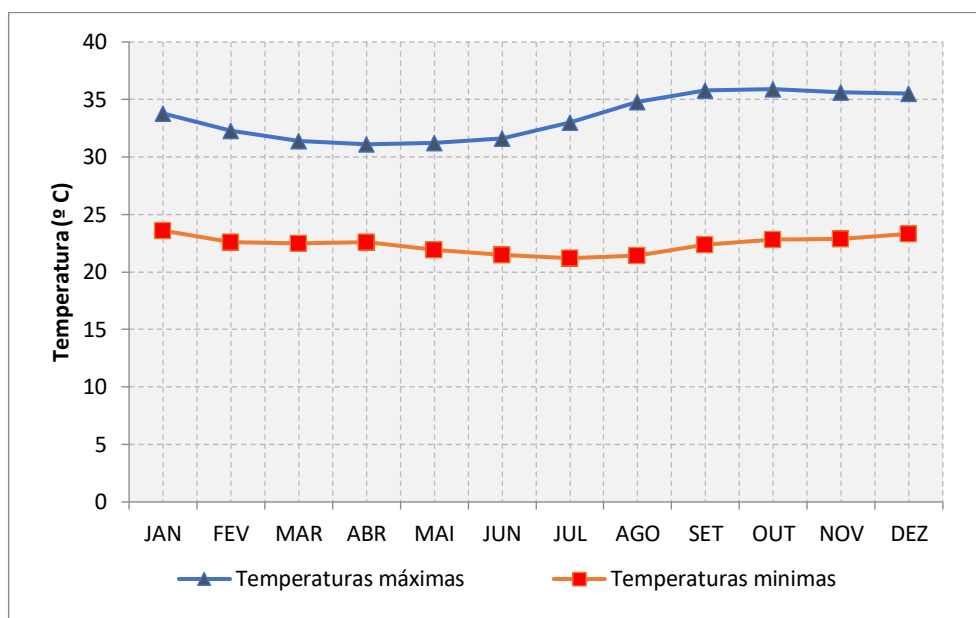
As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de outubro e dezembro (35,9°C) e julho (21,2°C), veja **Quadro 2.23** e **Figura 2.35**.

Quadro 2.23 - Temperaturas Mensais Médias, Máximas, Mínimas e Compensadas (°C)

Em °C	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÁXIMA	33,8	32,3	31,4	31,1	31,2	31,6	33	34,8	35,8	35,9	35,6	35,5
MÍNIMA	23,6	22,6	22,5	22,6	21,9	21,5	21,2	21,4	22,4	22,8	22,9	23,3

FONTE: INMET (1992)

Figura 2.35 - Temperaturas Mensais Médias, Máximas, Mínimas e Compensadas



FONTE: INMET (1992)

2.4.1.3.2 - Umidade Relativa

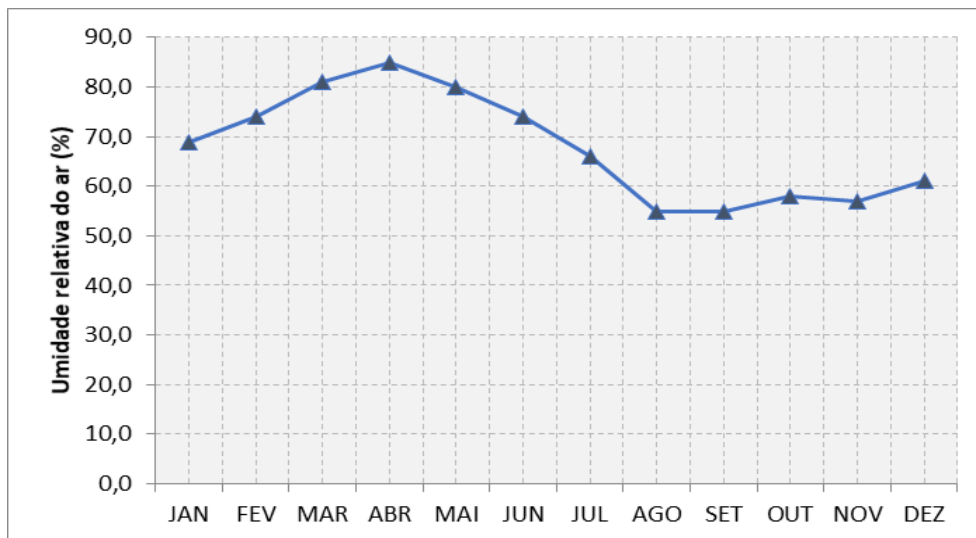
A umidade relativa média possui uma variação máxima de 30% ocorrida entre os meses de Abril (85,0%) e Setembro (55,0%), como pode ser verificado no **Quadro 2.24** e na **Figura 2.36**.

Quadro 2.24 - Umidade Relativa Média Mensal

Umidade	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
(%)	69	74	81	85	80	74	66	55	55	58	57	61

FONTE: INMET (1992)

Figura 2.36 - Umidade Relativa Média



FONTE: INMET (1992)

2.4.1.3.3 - Insolação Média

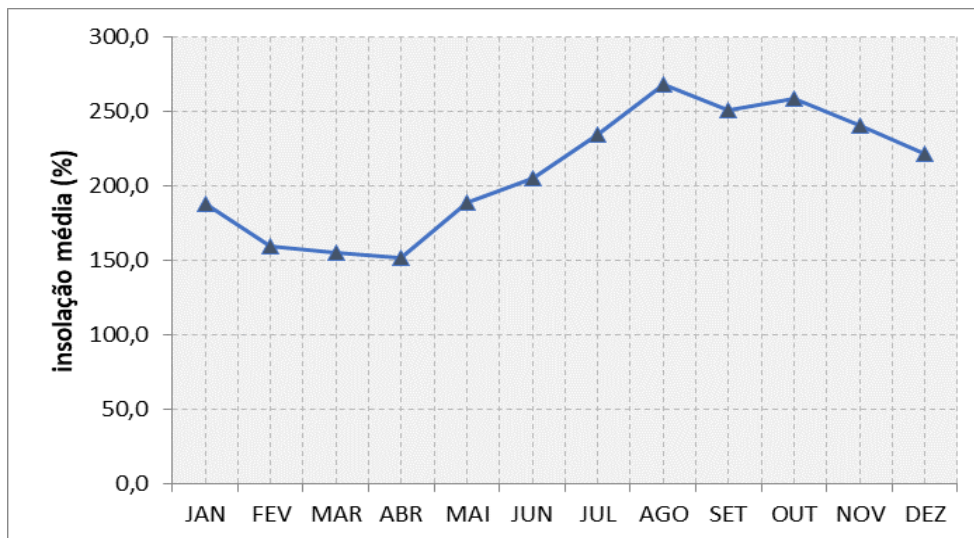
O **Quadro 2.25** e a **Figura 2.37** mostram, respectivamente, o número médio de horas e exposição solar e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 2.525,2 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 57,7% dos dias do ano possui incidência solar direta (admitindo-se que o dia está composto por 12 horas de luz diurna e 12 horas de luz noturna). Durante o trimestre agosto/setembro/outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, ao passo que os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (268,2 horas) e o mês de abril o menor (151,7 horas).

Quadro 2.25 - Insolação Média Mensal

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Horas	188,10	159,50	155,00	151,70	189,30	205,40	234,70	268,20	251,40	258,90	241,10	221,90	2.525,20

FONTE: INMET (1992)

Figura 2.37 - Insolação Total Média Mensal



2.4.1.3.4 - Nebulosidade

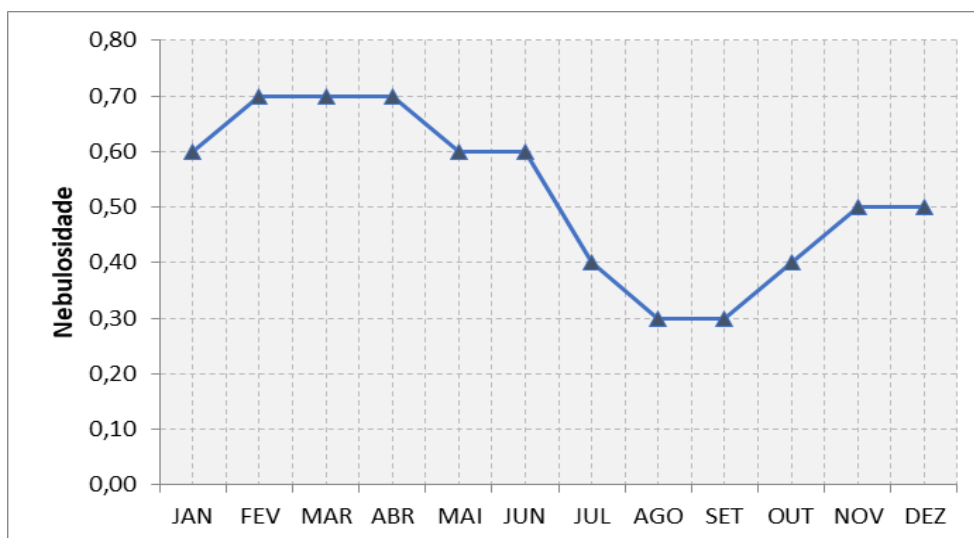
Na região da Barragem os meses de fevereiro a abril apresentam maior índice de nebulosidade (0,7) e o de menor é em agosto (0,30), ver **Quadro 2.26** e a **Figura 2.38** a variação mensal.

Quadro 2.26 – Nebulosidade

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Décimos	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5

FONTES: INMET (1992)

Figura 2.38 - Nebulosidade



2.4.1.3.5 - Evaporação Total Média Mensal

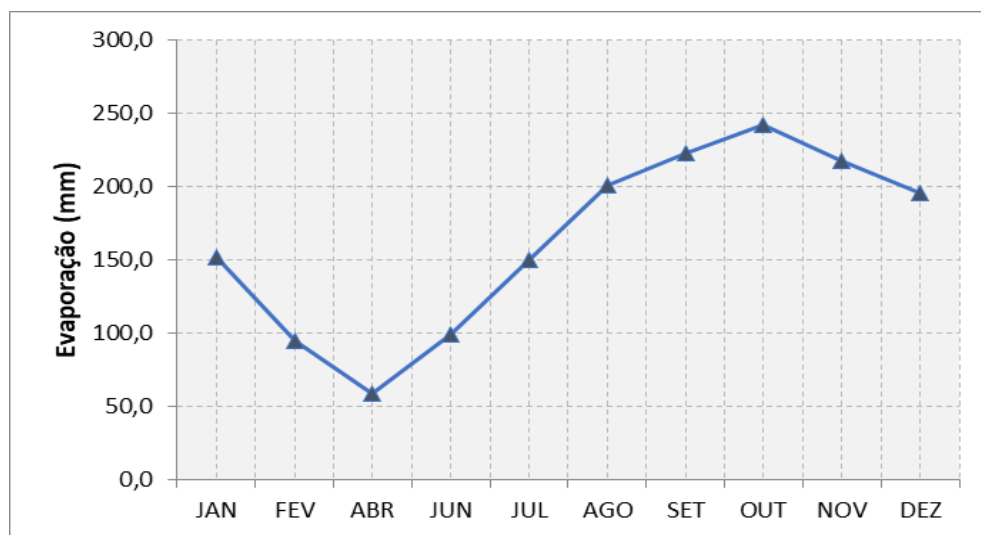
A evaporação média anual na estação, medida em tanque-tipo classe “A” foi superior a 1774,8mm, distribuída nos meses conforme demonstra o **Quadro 2.27** e a **Figura 2.1**.

Quadro 2.27- Evaporação Total Média Mensal

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Evaporação (mm)	151,8	94,3	69,7	58,4	71,0	99,3	150,2	200,8	222,8	242,7	217,7	196,1	1.774,80

FONTE: INMET (1992)

Figura 2.39- Evaporação Total Média Mensal



O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (242,7mm). Para a evaporação em açudes, devem-se multiplicar os valores por coeficiente de correção que varia entre 0,70 e 0,80.

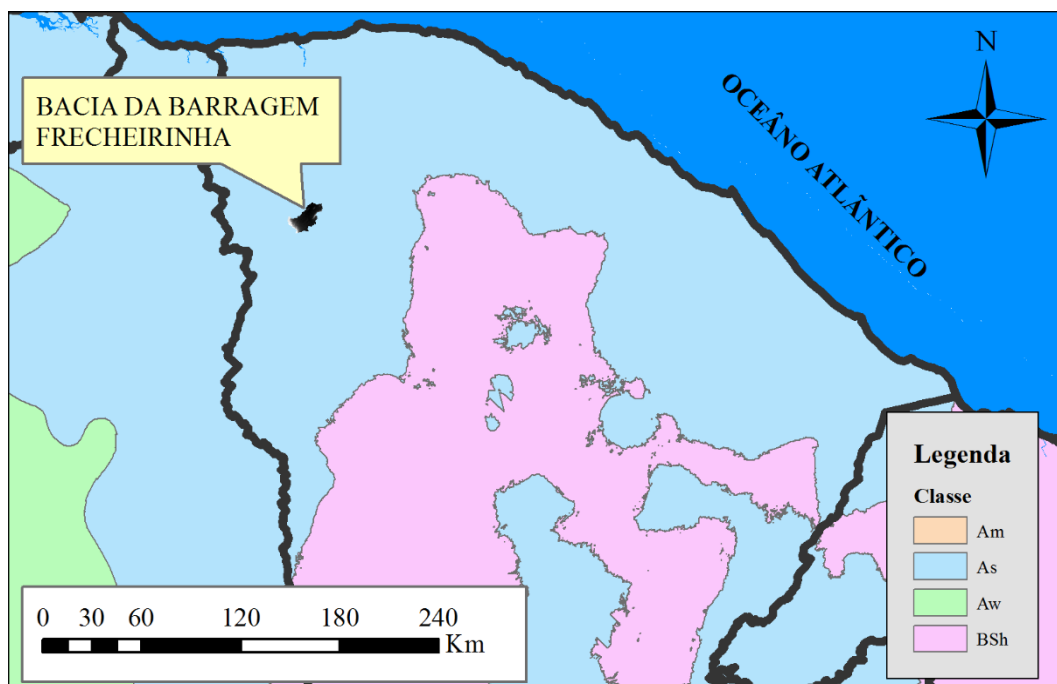
2.4.1.4 - Classificação Climática de Köppen-Geiger

A classificação climática de Köppen (1931) é uma das mais utilizadas, sendo baseada nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação. Para a Barragem Frecheirinha, a classificação climática pode ser avaliada pela distribuição zoneada da **Figura 2.40** a seguir.

Pela imagem apresentada, a bacia da Barragem Frecheirinha está inserida na região de classificação “AS”. O código “A” é caracterizado pelo “clima Tropical” com

características de climas megatérmicos, com temperatura média do mês mais frio do ano maior que 18°C, estação invernal ausente e forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual). Já o código “S” faz referência a pluviometria da região com estação seca no verão.

Figura 2.40 - Classificação climática de Köppen-Geiger para Bacia Hidrográfica



(Alvares et. al, 2013)

2.4.1.5 - Caracterização Pluviométrica

A caracterização pluviométrica tem como objetivo determinar a altura média de precipitação sobre a bacia do açude Frecheirinha. Para esta estimativa foi adotado dois métodos bastantes utilizados: Método das Isoietas e o Método de Thiessen.

2.4.1.5.1 - Método das Isoietas

Neste método, são traçadas as isoietas ou curvas que unem pontos de igual precipitação. Em seguida, calculam-se as áreas parciais contidas entre duas isoietas sucessivas e a precipitação média em cada área parcial, que é determinada fazendo-se a média dos valores de duas isoietas.

A **Figura 2.41** apresenta as isoietas da região adjacente ao Município de Frecheirinha. Observa-se uma alta variação pluviométrica na região da bacia hidrográfica, apresentando índices entre 700mm à 1.600mm por ano.

Pelo método das isoietas, temos uma precipitação média na bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha de 1.180 mm/ano, conforme memória apresentada a seguir.

2.4.1.5.2 - Método de Thiessen

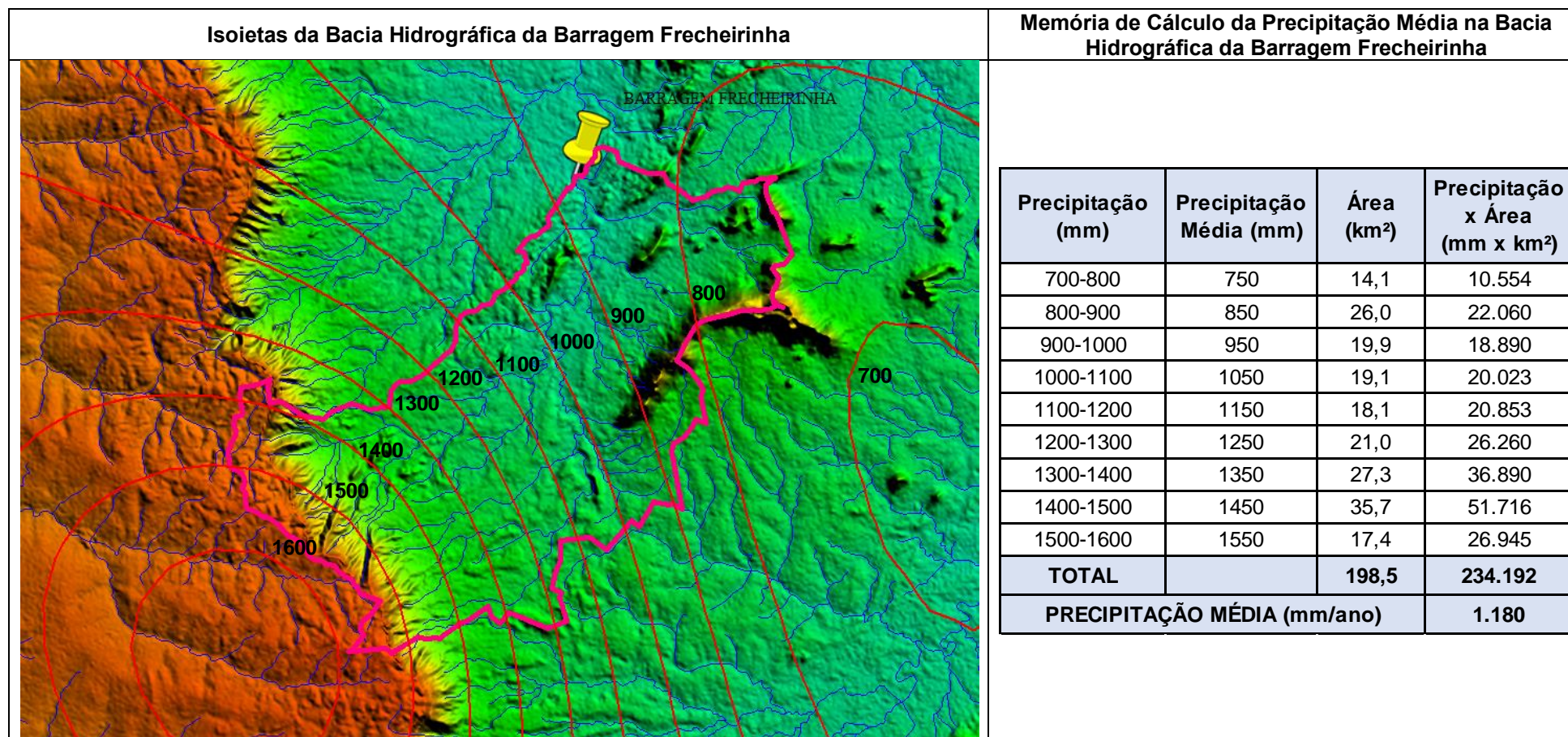
O método de Thiessen consiste em subdividir a bacia em áreas delimitadas por retas unindo os pontos das estações, dando origem a vários triângulos. Traçando perpendiculares aos lados de cada triângulo, obtêm-se vários polígonos que encerram, cada um, apenas um posto de observação. Admite-se que cada posto seja representativo daquela área onde a altura precipitada é tida como constante. Cada estação recebe um peso pela área que representa em relação à área total da bacia. Se os polígonos abrangem áreas externas à bacia, essas porções devem ser eliminadas no cálculo.

Consultando o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, existem 8 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. O **Quadro 2.28** a seguir apresenta algumas características dos postos selecionados para o estudo.

Quadro 2.28 - Postos pluviométricos na região da bacia hidrográfica

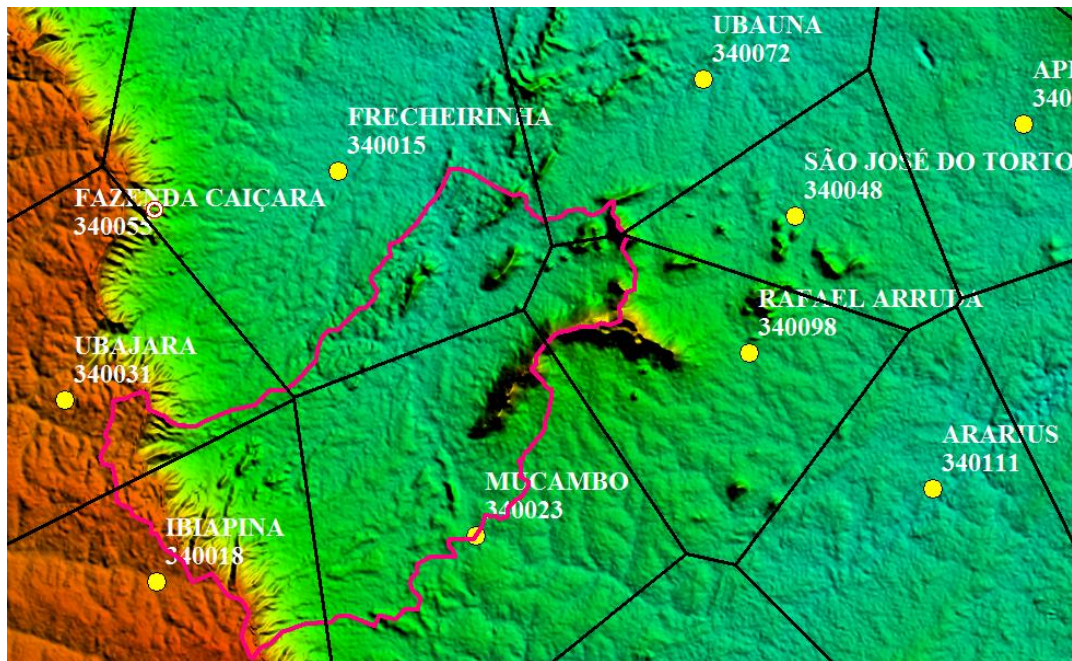
CÓDIGO	POSTO	OPERADO:	MUNICÍPIO	COORDENADAS		SÉRIE HISTÓRICA	PERÍODO
				LATITUDE	LONGITUDE		
340023	MUCAMBO	FUNCEME	MUCAMBO	-3:54:0	-40:46:0	85 Anos	1933 - 2017
340018	IBIAPINA	FUNCEME	IBIAPINA	-3:55:0	-40:53:0	106 Anos	1912 - 2017
340031	UBAJARA	FUNCEME	UBAJARA	-3:51:0	-40:55:0	106 Anos	1912 - 2017
340055	FAZENDA CAIÇARA	DNOCS	FRECHEIRINHA	-3:46:0	-40:49:0	2 Anos	1984 - 1985
340015	FRECHEIRINHA	FUNCEME	FRECHEIRINHA	-3:46:0	-40:49:0	84 Anos	1934 - 2017
340072	UBAUNA	FUNCEME	COREAÚ	-3:44:0	-40:41:0	18 Anos	2000 - 2017
340048	SÃO JOSÉ DO TORTO	FUNCEME	SOBRAL	-3:47:0	-40:39:0	21 Anos	1997- 2017
340098	RAFAEL ARRUDA	FUNCEME	SOBRAL	-3:50:0	-40:40:0	20 Anos	1998 - 2017

Figura 2.41: Caracterização Pluviométrica Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha – Método das Isoietas



Quatro postos pluviométricos apresentam uma série histórica satisfatória, entre 84 e 106 anos de dados observados. O posto da Fazenda Caiçara (340055) foi desconsiderado para este estudo. A **Figura 2.42** apresenta o Polígono de Thiessen para a área estudada.

Figura 2.42 – Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha - Polígonos de Thiessen



Pelo método de Thiessen, verificamos que o posto de Mucambo (340023) é o posto mais abrangente da área, com 42,4% de influência, seguido do posto de Ibiapina com 23,7% de influência da bacia. O posto Fazenda Caiçara, como mencionado anteriormente, devido à baixa quantidade de dados observado, o mesmo foi desconsiderado. Já o posto São José do Torto, apesar de ser uma estação localizada próxima da área de estudo, o mesmo não apresenta influência na bacia hidrográfica. A influência de cada posto na precipitação que ocorre na bacia de contribuição do açude Frecheirinha pode ser verificada no **Quadro 2.29** apresentado a seguir.

Quadro 2.29 – Cálculo da Influência dos Postos na Bacia Hidrográfica da Barragem

CÓDIGO	POSTO	ÁREA (km ²)	INFLUENCIA NA BACIA (%)
340023	MUCAMBO	84,2	42,40%
340018	IBIAPINA	47,1	23,70%
340031	UBAJARA	10,2	5,10%
340015	FRECHEIRINHA	40,4	20,30%
340072	UBAUNA	3,5	1,80%
340098	RAFAEL ARRUDA	13,2	6,60%
TOTAL		198,5	100,00%

Calculando a média ponderada pela influência de cada posto segundo Polígono de Thiessen, a distribuição das precipitações mensais é mostrada no **Quadro 2.30**.

Quadro 2.30 - Precipitação Média Mensal dos Postos e da Bacia – Método de Thiessen

POSTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MUCAMBO	122,3	178,7	246,9	239,8	126,3	41,2	14,1	3,0	1,6	6,7	8,2	37,2	1.026,0
IBIAPINA	182,2	266,1	387,4	368,5	195,2	75,7	33,6	11,2	8,6	8,6	18,2	60,8	1.616,1
UBAJARA	153,7	242,1	347,6	340,1	185,9	76,4	29,6	9,6	5,4	6,5	11,9	51,7	1.460,5
FRECHEIRINHA	106,4	178,2	270,5	245,9	108,9	33,2	17,3	1,8	1,3	3,9	7,9	36,4	1.011,7
UBAUNA	89,8	151,9	160,4	154,2	74,2	22,7	11,7	0,0	0,0	2,8	1,5	11,4	680,6
RAFAEL ARRUDA	92,0	117,0	138,0	155,0	56,0	15,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	578,6
THIESSEN	132,3	198,0	281,4	269,6	136,6	47,5	19,3	4,8	3,3	6,1	10,0	40,7	1.149,5

Fonte: Banco de dados HIDROWEB

A precipitação média anual pelo método de Thiessen foi de 1.149,5 mm/ano, sendo um valor muito próximo à precipitação calculada pelo método de Isoietas apresentado anteriormente de 1.180 mm/ano (diferença de 2,75% entre os métodos). O posto Mucambo (340023) é o posto pluviométrico mais representativo existente próximo da bacia hidrográfica

Avaliando a precipitação interanual do posto de Mucambo, observa-se, pela **Figura 2.43** e pela **Figura 2.44**, a semelhança das precipitações mensais com as obtidas pelo método de Thiessen. Percebe-se ainda, pela distribuição sazonal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a Zona de Convergência Intertropical responsável pelas chuvas de janeiro a maio.

Figura 2.43 - O Regime de Chuvas no Posto Mucambo

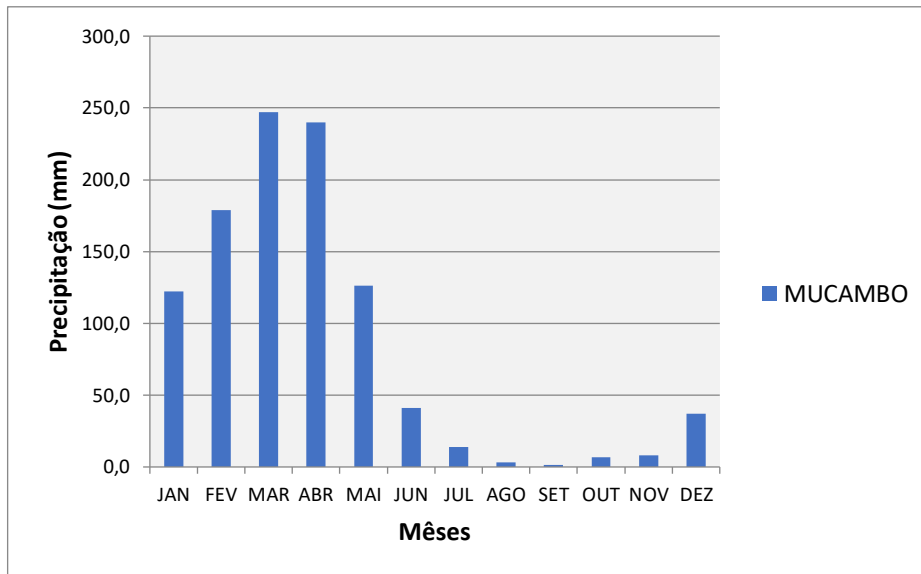
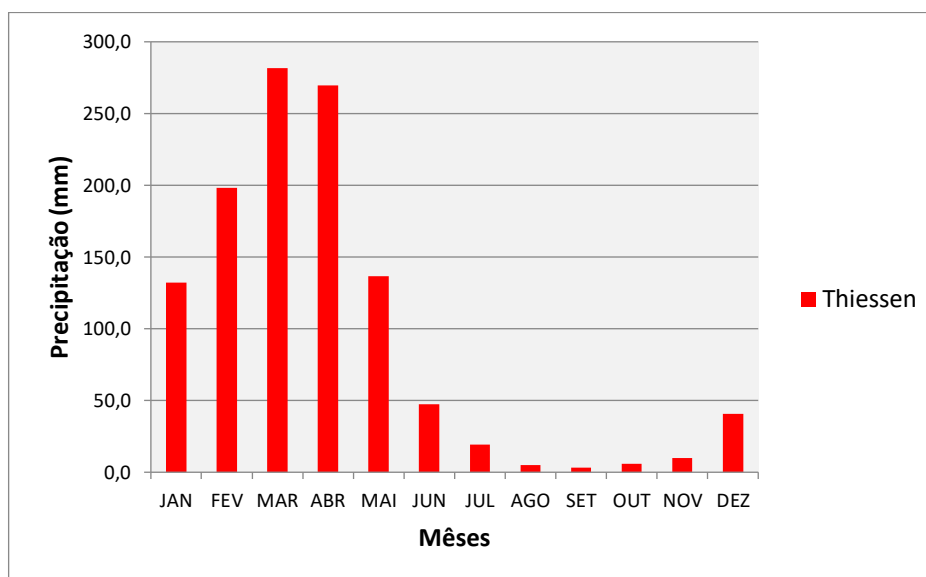


Figura 2.44 - O Regime de Chuvas na Bacia por Thiessen



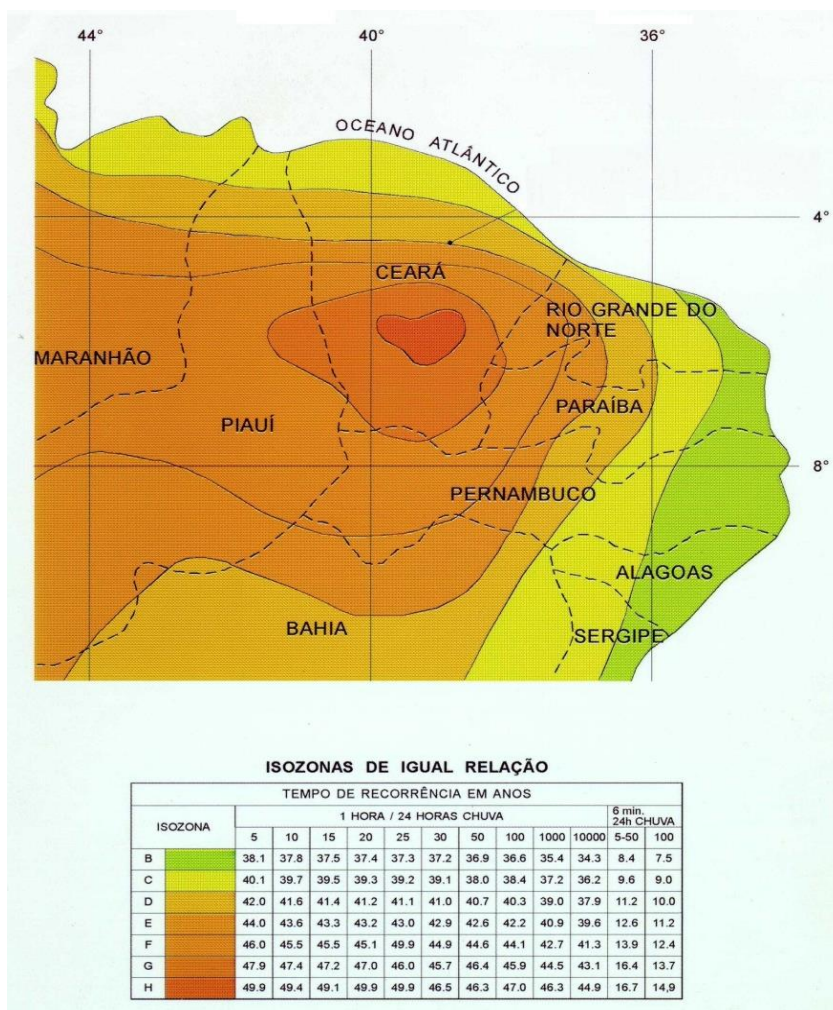
2.4.2 - O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA

2.4.2.1 - Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o Método das Isozonas (Taborda Torrico, 1975). Este método utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma para cada período de retorno, a chuva de 1 dia de duração, em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas.

O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por Torrico, nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno, **Figura 2.45**.

Figura 2.45 - Isozonas de Igual Relação no Nordeste Setentrional



(Fonte: Torrico, 1975)

2.4.2.2 - Determinação dos Valores das Precipitações Máximas Anuais

O estudo de chuvas extremas na bacia hidrográfica da Barragem Frecheirinha foi feito a partir dos dados dos postos mais próximos a área da bacia, ponderando a precipitação com os fatores de influência de Thiessen. O **Quadro 2.31** a seguir apresenta os valores ponderados para o período de 1912 a 2016.

Quadro 2.31 – Precipitações Máximas Diárias na Bacia Hidrográfica

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1912	86,7	1933	76,3	1954	111,6	1975	86,4	1996	88,8
1913	72,7	1934	83,8	1955	97,4	1976	60,3	1997	84,4
1914	68,5	1935	83,1	1956	92,0	1977	87,8	1998	59,2
1915	64,9	1936	73,7	1957	99,2	1978	82,6	1999	73,3
1916	69,3	1937	73,6	1958	64,6	1979	78,9	2000	60,4
1917	74,3	1938	66,0	1959	101,6	1980	69,5	2001	100,3
1918	71,8	1939	76,1	1960	81,8	1981	63,9	2002	96,1
1919	50,1	1940	79,6	1961	104,8	1982	70,6	2003	75,0
1920	72,9	1941	64,0	1962	114,5	1983	80,3	2004	72,5
1921	89,4	1942	78,3	1963	103,3	1984	92,0	2005	69,7
1922	131,3	1943	67,2	1964	74,2	1985	104,0	2006	76,2
1923	77,2	1944	114,6	1965	90,0	1986	106,6	2007	77,5
1924	87,7	1945	86,4	1966	73,5	1987	92,7	2008	106,5
1925	102,0	1946	79,4	1967	96,1	1988	91,6	2009	131,5
1926	60,3	1947	115,1	1968	79,8	1989	75,3	2010	132,4
1927	81,8	1948	62,5	1969	65,9	1990	89,4	2011	101,9
1928	57,0	1949	64,6	1970	87,4	1991	74,7	2012	77,5
1929	102,9	1950	74,8	1971	79,6	1992	54,4	2013	34,0
1930	162,7	1951	95,9	1972	52,3	1993	67,6	2014	79,2
1931	62,0	1952	81,0	1973	108,2	1994	87,0	2015	72,2
1932	84,8	1953	94,3	1974	82,7	1995	88,2	2016	61,3

Para a série de chuvas máximas anuais foram testados, com ajustamentos, 11 distribuições de probabilidades diferentes (normal; log-normal, gama, gama 3 parâmetros, etc.).

O software avalia o ajuste dos dados analisados pela estatística de Anderson-Darling (AD). Em geral, quanto melhor distribuição se ajusta aos dados, menor a estatística AD.

No **Quadro 2.32** a seguir, é apresentado as distribuições que mais se ajustam aos dados, além dos dados de precipitação para o período de retorno de 100 anos (1% de probabilidade de ocorrência).

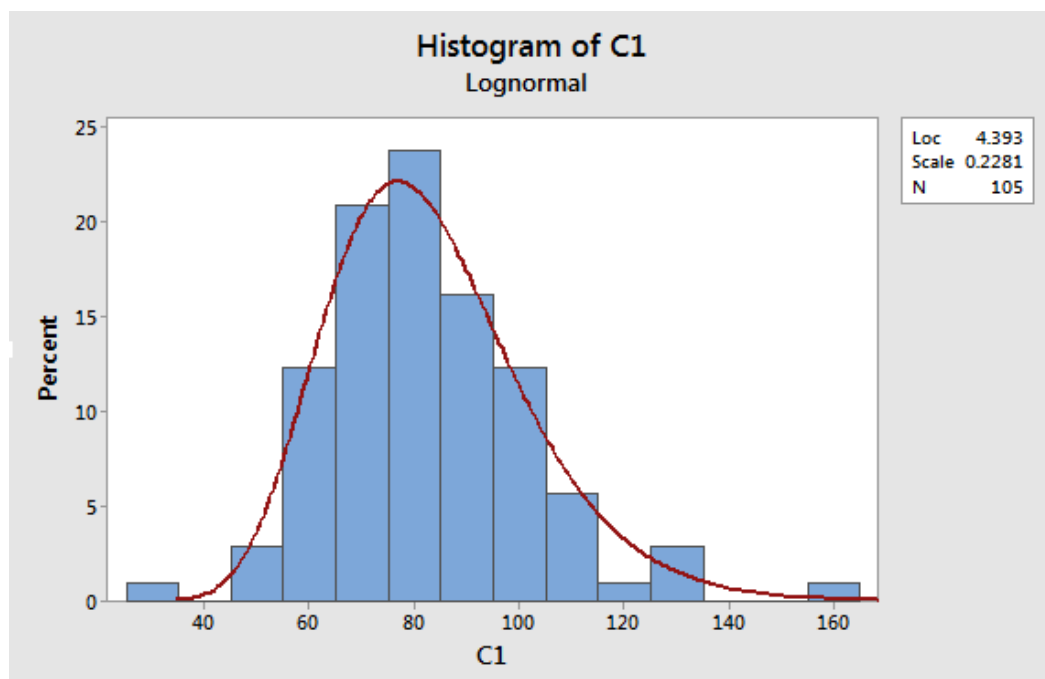
Pelos dados obtidos, e analisando o quadro apresentado, a distribuição de melhor ajuste é a **Log-Normal, com AD=0,375** e precipitação de **163,70 mm**.

Quadro 2.32 - Distribuições de Melhor Ajuste pela Estatística Anderson-Darling

Item	Tipo de Distribuição	Anderson-Darling (AD)	TR=100 Anos
1	Gama	0,497	153,05
2	3 parâmetros gama	0,474	148,51
3	3 parâmetros weibull	1,379	116,91
4	3 parâmetros log-normal	0,389	174,50
5	Normal	1,224	142,57
6	Exponencial	29,967	573,33
7	2 Parametros Exponencial	19,610	341,72
8	Weibul	2,443	143,14
9	Smallest Extreme Value	5,948	141,05
10	Largest Extreme Value Transformation	0,606	189,54
11	Log-Normal	0,375	163,70

Na **Figura 2.46** é apresentado a distribuição de frequência dos dados pluviométricos, que foi ajustado a distribuição Log-Normal.

Figura 2.46 - Distribuição de Frequência dos Dados Pluviométricos - Log-Normal



Com base na distribuição de frequência, as probabilidades de ocorrência com a precipitação máximo diária com durações de um dia para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos, seguindo a distribuição Log-Normal, são, respectivamente, 163,7mm e 188,94mm.

2.4.2.3 - Chuvas Máximas com Durações de 24 Horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração foram obtidas multiplicando-se os valores das precipitações máximas diárias, para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000, do parágrafo anterior pelo fator 1,10 (para P 1dia) assim: P1.000=180,07mm e P10.000=207,83mm.

2.4.2.4 - Chuvas Máximas com Duração de 1 hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas pelo fator R:

$$P_{1h} = R \cdot P_{24h}$$

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos da tabela contida na Figura 2.45. A Isozona considerada foi a D. Os valores das chuvas pontuais de 1 hora e 24 horas de duração referem-se a uma área de 25 km². As Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos estão apresentadas no **Quadro 2.33** a seguir.

Quadro 2.33 - Precipitações Máximas Intensas

Período de Retorno - Tr	R (Isozona D)	Precipitação	
		P24h	P1h
1.000 anos	0,390	180,07	70,22
10.000 anos	0,379	207,83	78,76

2.4.2.5 - Conversão da Chuva Pontual em Chuva Espacial

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

onde:

W = parâmetro regional;

PA = precipitação sobre toda a área;

P0 = chuva pontual;

A = área em estudo; e

Ao = 25 km² (área base para chuva pontual)

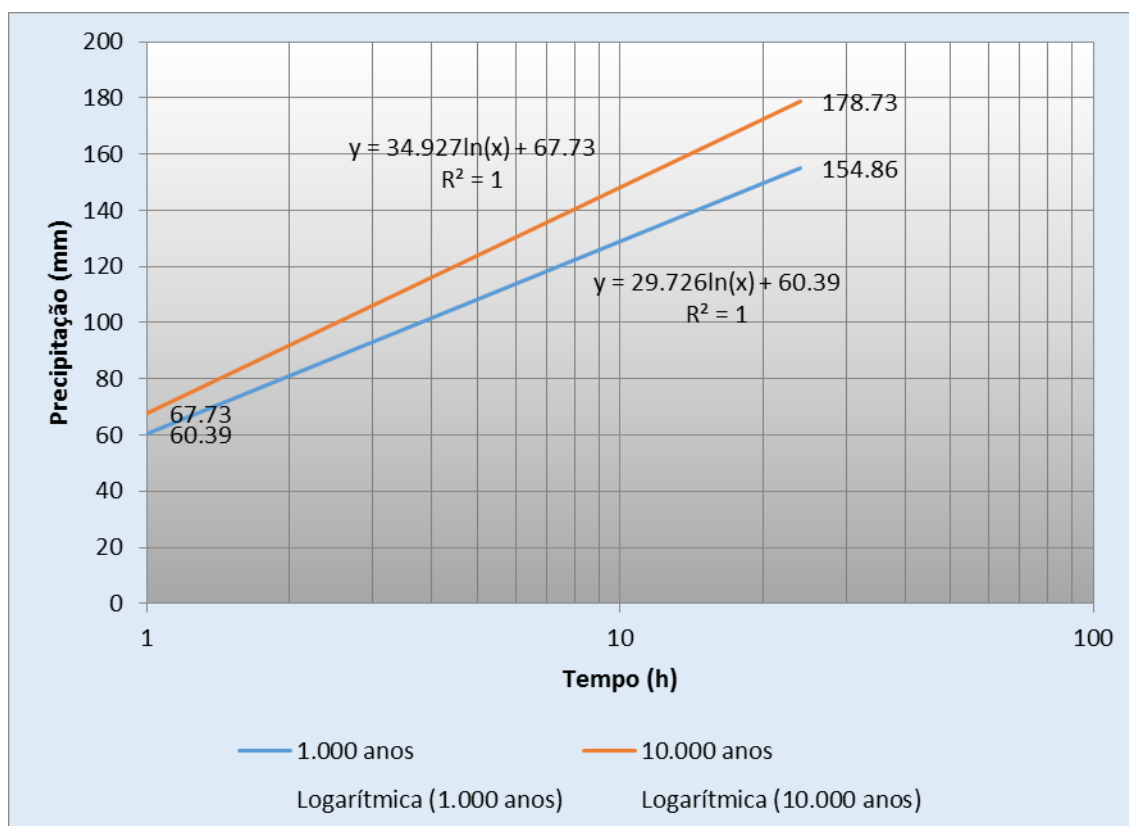
Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no **Quadro 2.34** que mostra a Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas sobre a Bacia Hidrográfica.

Quadro 2.34 - Transformação da Chuva Máxima e Intensa Pontual em Espacial

Tr	Po 24h	Po 1h	A	A/A0	W	$r = 1 - W \cdot \log(A/A0)$	PA 24h=r.Po 24h	PA 1h=r.Po 1h
1.000 anos	180,07	70,22	194,50	7,78	0,16	0,86	154,86	60,39
10.000 anos	207,83	78,76	194,50	7,78	0,16	0,86	178,73	67,73

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observada na **Figura 2.47**, para a bacia da Barragem Frecheirinha.

Figura 2.47 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência



Embora o tempo de concentração da bacia da Barragem Frecheirinha, seja igual a 3,48 horas, foram determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva ao longo de o dobro de T_c , para o valor de 7 horas, como mostra o **Quadro 2.35**.

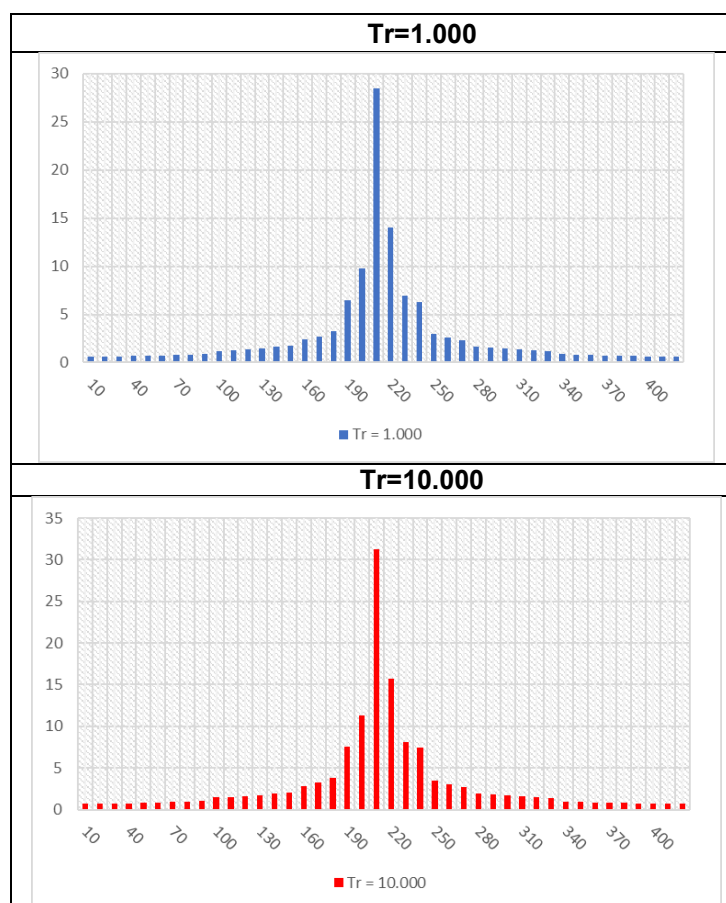
Quadro 2.35 - Distribuição Acumulada da Chuva a cada Intervalo de 1 hora

Duração da Chuva (horas)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precipitação (mm)	Tr = 1.000	60,39	80,99	93,05	101,6	108,23	113,65	118,23	122,2	125,7	128,84
	Tr = 10.000	67,73	91,94	106,1	116,15	123,94	130,31	135,69	140,36	144,47	148,15

2.4.2.6 - Chuva de Projeto

No **Quadro 2.36** obteve-se a chuva milenar de 118,23 mm e a decamilenar de 135,69. A **Figura 2.48** apresenta as chuvas balanceadas milenar e decamilenar. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e apresentada no Quadro 2.33.

Figura 2.48 - Chuva Balanceada para Tr=1.000 e Tr=10.000 anos



Quadro 2.36 - Chuva de Projeto Balanceada – Tr= 1.000 anos e Tr=10.000 anos

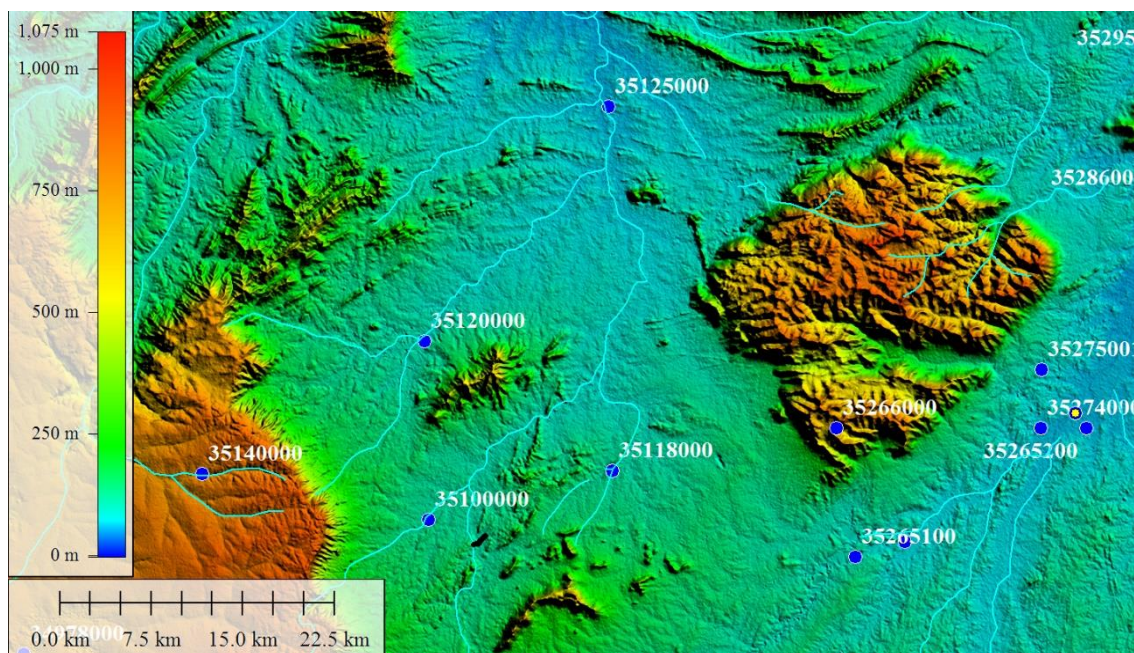
Tempo (min)	Tempo (horas)	Precipitação (mm)	
		Tr = 1.000	Tr = 10.000
10	0,20	0,60	0,69
20	0,30	0,62	0,72
30	0,50	0,64	0,75
40	0,70	0,67	0,78
50	0,80	0,71	0,82
60	1,00	0,74	0,86
70	1,20	0,79	0,91
80	1,30	0,83	0,96
90	1,50	0,89	1,03
100	1,70	1,22	1,46
110	1,80	1,29	1,54
120	2,00	1,37	1,63
130	2,20	1,48	1,74
140	2,30	1,61	1,90
150	2,50	1,79	2,10
160	2,70	2,40	2,86
170	2,80	2,73	3,22
180	3,00	3,27	3,81
190	3,20	6,49	7,59
200	3,30	9,80	11,27
210	3,50	28,43	31,25
220	3,70	14,06	15,75
230	3,80	6,97	8,06
240	4,00	6,29	7,42
250	4,20	2,96	3,47
260	4,30	2,55	3,02
270	4,50	2,29	2,74
280	4,70	1,69	1,99
290	4,80	1,54	1,81
300	5,00	1,42	1,68
310	5,20	1,33	1,58
320	5,30	1,25	1,50
330	5,50	1,19	1,43
340	5,70	0,86	1,00
350	5,80	0,81	0,94
360	6,00	0,76	0,88
370	6,20	0,72	0,84
380	6,30	0,69	0,80
390	6,50	0,66	0,77
400	6,70	0,63	0,73
410	6,80	0,61	0,71
420	7,00	0,58	0,68
TOTAL		118,23	135,69

2.4.3 - ESTUDOS DO REGIME FLUVIAL

2.4.3.1 - Dados Fluviométricos Disponíveis

Não foi identificado posto fluviométrico no riacho Caiçara, apenas o posto fluviométrico de Moraújo (código 35125000) pertencente ao mesmo sistema de drenagem do riacho Caiçara, localizado no rio Coreaú a cerca de 42 km a jusante do local da barragem, ver a seguir.

Figura 2.49 - Localização dos Postos Fluviométricos na Bacia do Rio Coreaú



Fora do sistema tem o posto Fazenda Caiçara (Código: 35100000) e o posto do açude Trapia III (Código: 35118000) com pequenas séries de dados de 2 anos e 6 anos. O **Quadro 2.37** apresentado a seguir mostra as características de cada posto fluviométrico analisado.

Quadro 2.37 - Características dos Postos Fluviométricos

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área (km ²)	Operando
35125000	Moraújo	Moraújo	3°:27':53"	40°:41':7"	74,0	1500	Sim
35100000	Fazenda Caiçara	Ubajara	3°46'00"	40°49'00"	68,0	68	Não
35118000	Açude Trapia III	Coreaú	3°43'51"	40°40'50"	120,0	26	Não

Fonte: HIDROWEB

O **Quadro 2.38** apresenta a série histórica vazões médias mensais, em m³/s, no posto fluviométrico de Moraújo-CE.

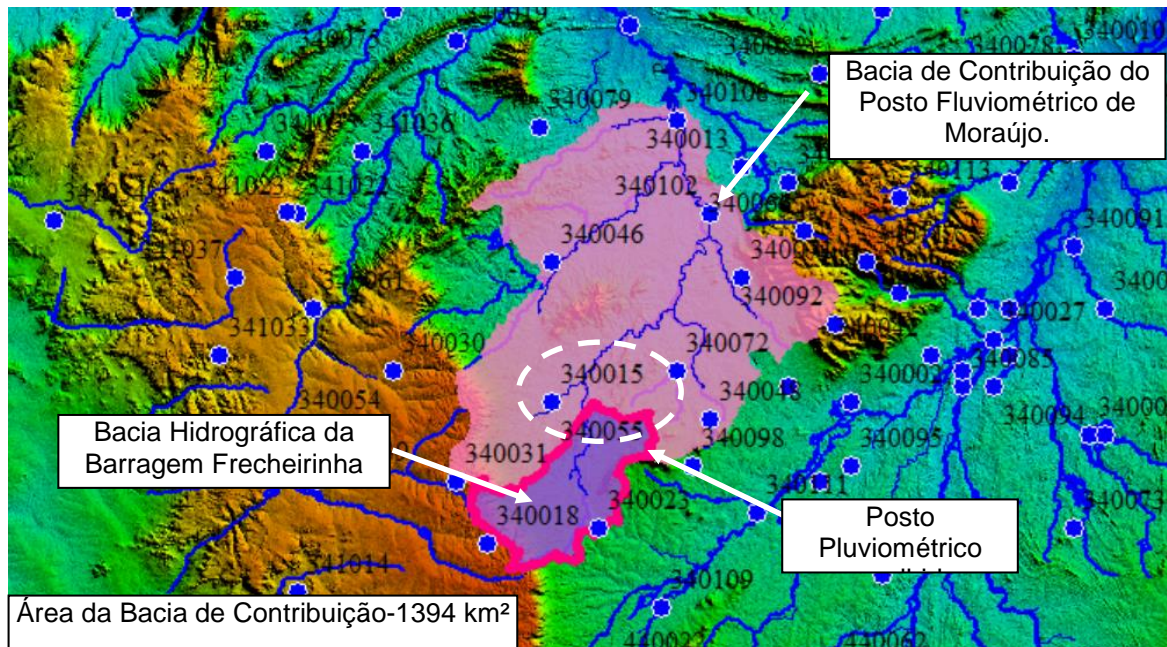
Quadro 2.38 - Série Histórica de Vazões Médias Mensais (m³/s) - Posto de Moraújo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1982	-	-	14,1	17,5	1,4	0,1	-	-	-	-	-	-	33,1
1983	-	-	0,3	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7
1984	-	1,6	18,8	59,2	44,1	2,4	0,4	-	-	-	-	-	126,5
1985	-	82,1	112,3	-	-	21,8	12,4	-	-	-	-	-	228,6
1986	3,7	33,9	113,2	138,4	-	-	-	-	-	0,1	-	-	289,3
1987	-	0,7	45,6	14,2	4,2	2,4	-	-	-	-	-	-	67,1
1988	-	4,2	28,0	88,8	64,3	9,2	3,4	1,7	-	-	-	-	199,5
1989	-	2,8	24,6	105,4	59,6	7,2	3,6	0,7	-	-	-	-	203,8
1990	-	-	5,7	7,0	10,7	1,0	-	-	-	-	-	-	24,4
1991	-	6,1	33,0	22,8	19,1	1,6	-	-	-	-	-	-	82,6
1992	-	-	-	9,8	-	-	-	-	-	-	-	-	9,8
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	13,6	62,5	19,6	5,8	2,4	-	-	-	-	-	103,9
1995	-	-	20,4	70,4	35,9	6,3	-	-	-	-	-	-	133,0
1996	-	0,9	41,7	77,1	17,2	1,8	-	-	-	-	-	-	138,6
1997	-	-	-	15,4	4,8	0,6	-	-	-	-	-	-	20,8
1998	-	-	-	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1
1999	-	2,7	32,6	4,7	17,6	-	-	0,4	0,5	0,5	1,5	1,3	61,7
2000	2,5	10,6	11,8	59,9	8,6	1,4	0,8	-	0,4	0,5	0,7	0,7	97,8
2001	0,8	5,8	14,8	68,4	4,3	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	96,2
2002	1,1	0,9	1,7	6,5	3,7	0,9	0,4	-	-	0,3	0,7	0,7	16,9
2003	1,0	24,3	66,4	51,0	11,6	1,8	0,7	0,3	-	-	0,4	0,7	158,1
2004	7,1	55,2	40,5	5,5	2,6	1,9	1,9	-	0,6	-	0,4	0,4	116,1
2005	0,5	0,8	4,9	7,5	1,8	0,8	0,6	0,6	-	0,6	0,9	0,9	19,8
2006	1,0	1,3	4,4	12,2	13,3	1,4	0,8	0,5	0,7	0,9	1,0	1,3	38,8
2007	1,0	11,5	7,2	18,3	11,1	0,8	0,5	0,7	1,2	0,7	1,2	1,5	55,7
2008	2,0	7,6	15,1	96,7	24,2	2,6	0,9	-	-	0,2	-	0,7	150,1
2009	7,9	11,5	58,5	96,5	115,1	18,0	3,8	1,4	0,3	0,1	0,1	0,1	313,1
2010	0,2	0,2	0,1	1,8	1,6	0,1	0,1	0,3	0,6	0,9	0,6	2,0	8,4
2011	6,2	18,8	21,8	73,5	34,6	2,2	1,3	0,1	-	0,1	0,1	0,1	158,6
2012	0,3	0,8	1,9	3,0	0,3	-	0,2	0,2	0,9	0,6	0,5	0,6	9,2
2013	0,6	0,9	0,5	1,4	4,6	0,1	-	0,3	0,2	0,1	0,7	1,0	10,3
2014	0,7	2,0	3,4	5,0	2,0	0,3	-	0,4	0,1	-	0,1	-	13,9
2015	-	-	4,8	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	8,9
2016	1,0	2,0	5,6	3,8	0,2	-	-	-	-	-	0,1	0,1	12,8
Média	1,1	8,3	21,9	34,6	15,4	2,7	1,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	86,1

Como não existe Posto Fluviométricos na área da bacia hidrográfica, foi utilizado o modelo: chuva x deflúvio para calcular as vazões geradas pela bacia, para isto foi escolhido o Posto Pluviométrico de Frecheirinha (Código: 340015), pois este é o posto de maior série histórica e melhor representatividade na bacia de contribuição. Para fazer as aferições das vazões foi utilizado o Posto Fluviométrico de Moraújo. A **Figura 2.50** apresenta a localização dos Postos Pluviométricos presentes na bacia de

contribuição do Posto Fluviométrico de Moraújo e da bacia hidrográfica da Barragem Frecheirinha, além das áreas de contribuição de cada uma.

Figura 2.50 - Localização dos Postos Fluviométricos e do Posto Fluviométrico de Moraújo



O **Quadro 2.39** apresenta a série histórica de chuvas mensais registradas no posto Pluviométrico de Frecheirinha para o mesmo intervalo de tempo do posto fluviométrico de Moraújo.

2.4.3.2 - Estudo de Vazões Afluentes

A estimativa das vazões afluentes mensais ao reservatório Frecheirinha foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação do mesmo.

O modelo hidrológico escolhido foi o SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure), desenvolvido por Lopes et al. (1981). O SMAP é um modelo chuva-vazão do tipo conceitual e concentrado e a versão utilizada neste trabalho possui discretização temporal mensal.

Os dados utilizados neste trabalho para a calibração dos parâmetros do modelo chuva-deflúvio SMAP foram os referentes ao próprio posto fluviométrico de Moraújo (35125000).

Quadro 2.39 - Chuvas Mensais do Posto Pluviométrico Frecheirinha (340015)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1982	39,0	131,6	188,0	99,0	61,0	-	-	-	-	-	-	-	518,6
1983	22,9	37,3	31,0	222,4	-	-	-	-	-	-	-	-	313,6
1984	17,0	183,0	507,0	314,6	267,3	38,1	16,4	-	-	-	-	29,8	1.373,2
1985	242,4	287,6	504,7	369,2	187,3	-	57,8	-	-	-	-	154,7	1.803,7
1986	-	220,5	329,6	204,0	174,1	82,1	3,0	-	1,0	-	1,0	20,9	1.036,2
1987	119,4	65,2	588,0	60,9	28,4	80,4	-	-	-	-	-	-	942,3
1988	167,5	172,4	330,4	297,2	212,0	72,2	-	4,6	-	-	-	184,5	1.440,8
1989	212,9	103,2	360,7	350,9	217,0	19,7	66,3	4,0	-	-	3,3	219,1	1.557,1
1990	23,8	140,1	198,8	305,4	192,6	11,6	11,6	-	-	-	38,3	-	922,2
1991	146,4	272,0	245,3	123,7	86,1	-	-	-	-	-	-	-	873,5
1992	60,0	90,8	261,4	67,4	-	-	-	-	-	-	-	-	479,6
1993	71,0	165,7	102,6	95,1	121,2	-	-	-	-	-	-	26,0	581,6
1994	260,0	171,1	140,0	336,2	126,3	41,0	-	-	-	-	-	39,0	1.113,6
1995	57,0	202,0	157,0	240,0	286,0	74,0	-	-	-	28,0	28,0	-	1.072,0
1996	163,0	198,0	352,0	357,1	-	-	-	-	-	-	43,0	-	1.113,1
1997	118,0	99,5	244,0	141,0	20,0	-	-	-	-	-	19,0	-	641,5
1998	281,0	85,0	236,0	111,0	15,0	-	-	-	-	-	-	-	728,0
1999	86,0	153,0	301,0	87,0	148,0	37,0	-	-	-	-	35,0	28,0	875,0
2000	252,0	266,0	194,0	352,0	22,0	49,0	39,0	25,0	-	-	-	43,0	1.242,0
2001	90,0	185,0	195,0	283,0	47,0	33,0	6,0	-	-	-	9,0	10,0	858,0
2002	181,0	96,0	214,0	219,0	59,0	67,0	16,0	-	-	-	-	16,0	868,0
2003	199,0	284,0	302,0	193,0	34,0	81,0	7,0	3,0	-	-	4,0	12,0	1.119,0
2004	260,0	276,0	142,0	130,0	83,0	89,0	61,0	9,0	-	-	-	7,0	1.057,0
2005	125,0	84,0	298,0	126,0	70,0	17,0	4,0	2,0	-	-	30,0	38,0	794,0
2006	9,0	114,0	294,0	171,0	189,0	17,0	-	3,0	5,0	-	1,0	16,0	819,0
2007	-	287,0	174,0	261,0	13,0	15,0	5,0	-	-	-	-	22,0	777,0
2008	251,0	131,0	238,0	372,0	81,0	12,0	3,0	15,0	-	-	7,5	25,0	1.135,5
2009	292,4	176,0	297,0	523,0	334,0	73,0	38,0	24,0	-	5,0	-	3,0	1.765,4
2010	63,0	69,0	126,0	80,0	100,0	35,0	-	-	-	45,0	1,0	211,0	730,0
2011	158,0	142,0	169,0	289,0	105,0	37,0	68,0	70,0	-	-	72,0	-	1.110,0
2012	44,0	112,0	186,0	97,0	8,0	5,0	1,0	-	-	-	-	9,0	462,0
2013	59,0	95,0	107,0	158,0	175,0	45,0	21,0	-	-	-	7,0	20,0	687,0
2014	180,0	157,0	143,0	161,0	67,0	15,0	-	-	-	-	25,0	1,0	749,0
2015	18,0	170,0	156,0	81,0	84,0	48,0	29,0	-	-	-	-	9,0	595,0
2016	185,0	100,0	211,0	116,0	39,0	23,0	-	-	-	-	-	11,0	685,0
Média	127,2	157,8	243,5	211,3	104,4	31,9	12,9	4,6	0,2	2,2	9,3	33,0	938,2

O modelo SMAP, assim como outros modelos conceituais, procura representar o armazenamento e os fluxos de água na bacia através de reservatórios lineares fictícios. O modelo possui uma estrutura relativamente simples, composta por dois reservatórios que tentam representar o armazenamento e os fluxos na camada superior do solo e no aquífero.

A cada evento de precipitação (P), realiza-se um balanço de massa na bacia em estudo. Uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (ES), estimado por uma equação exponencial que depende de P, da taxa de umidade do solo (TU) e de um expoente Kes.

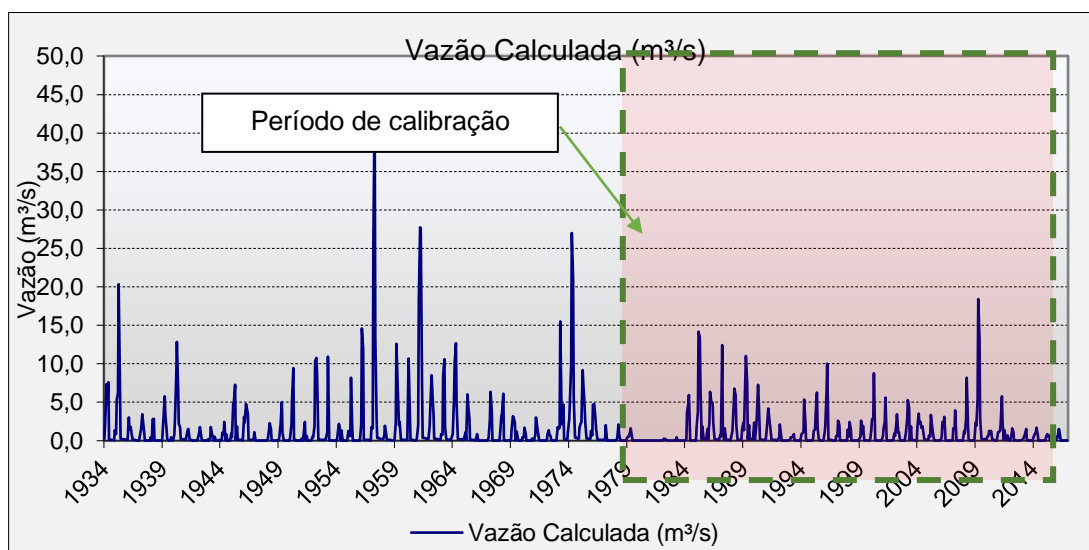
O processo de calibração do modelo foi realizado com base na série entre o período de 1982 – 2016 para toda a bacia de contribuição do posto fluviométrico de Moraújo (área de 1.392 km²). A calibração chegou aos valores de SAT = 1.850,5, Kes=2,8, CREC=2,2, EB = 6, obtendo um coeficiente de regressão de 0,62.

Avaliando a calibração por meio da média histórica, verificou-se excelente aproximação, sendo observado uma média de vazão observada de 7,17 m³/s e uma média calculada de 7,69 m³/s.

Através do modelo calibrado, gerou-se a série de vazões fluviométrica pseudo-históricas do reservatório de Frecheirinha, para o período de 1934 a 2016 considerando neste caso a bacia de contribuição da barragem.

Apresentamos a seguir a série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao Reservatório Frecheirinha na forma de Gráfico na **Figura 2.51** e em série de dados numéricos no **Quadro 2.40**.

Figura 2.51 - Série Fluviométrica Pseudo-Histórica Afluente ao Reservatório



ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1989	2,35	1,33	7,75	10,99	7,58	0,22	2,01	0,23	0,20	0,18	0,16	2,34	35,34
1990	0,14	1,63	3,09	7,24	5,39	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09	18,43
1991	0,97	3,06	4,21	2,51	1,88	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	13,26
1992	0,24	0,40	2,09	0,67	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	3,66
1993	0,12	0,47	0,43	0,52	0,87	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	2,51
1994	0,86	0,97	1,12	5,34	2,36	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	10,92
1995	0,23	1,24	1,42	3,46	6,28	1,67	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	14,71
1996	1,01	1,85	6,29	10,06	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	19,83
1997	0,64	0,65	2,63	2,00	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	6,25
1998	1,42	0,55	2,47	1,45	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	6,10
1999	0,20	0,56	2,58	0,93	1,98	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	6,43
2000	1,43	2,81	2,91	8,78	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	16,40
2001	0,54	1,56	2,43	5,59	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	10,51
2002	0,97	0,64	2,22	3,42	1,01	1,14	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	9,74
2003	1,02	2,84	5,27	4,32	0,08	1,83	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	15,82
2004	1,91	3,54	2,28	2,46	1,70	1,85	1,20	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	15,45
2005	0,67	0,54	3,39	1,85	1,13	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	7,99
2006	0,04	0,44	2,44	2,10	3,13	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	8,42
2007	0,02	1,61	1,56	3,92	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	7,33
2008	1,28	0,93	2,78	8,18	1,88	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	15,48
2009	2,33	1,98	5,47	18,45	13,17	2,81	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	45,44
2010	0,56	0,61	1,24	0,94	1,29	0,11	0,10	0,08	0,08	0,07	0,06	1,11	6,25
2011	1,12	1,31	2,11	5,74	2,32	0,10	1,36	0,10	0,09	0,70	0,08	0,07	15,10
2012	0,06	0,68	1,66	1,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	3,81
2013	0,12	0,24	0,38	0,89	1,53	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	3,27
2014	0,59	0,82	1,08	1,73	0,81	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	5,19
2015	0,01	0,55	0,84	0,55	0,67	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2,71
2016	0,54	0,40	1,50	1,10	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3,64
Média	0,62	1,57	4,25	5,70	2,56	0,57	0,27	0,09	0,08	0,08	0,07	0,23	16,10
Desv. Pad.	0,74	2,30	5,00	7,00	3,58	1,00	0,63	0,08	0,07	0,10	0,07	0,46	17,11
Máximo	3,09	18,31	27,78	43,92	21,18	5,70	4,66	0,39	0,35	0,70	0,31	2,34	91,48
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08

2.4.4 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

2.4.4.1 - Vazão Regularizada do Reservatório

Para obter a vazão regularizada do reservatório da Barragem Frecheirinha, foi calculado a vazão regularizada para diversas cotas (alturas de água) e capacidades de acumulação.

Para o cálculo das vazões, adotou-se o método do diagrama triangular de regularização de Campos (1987)¹. Este método consiste num modelo gráfico para dimensionamento hidrológico de reservatórios de águas superficiais situados em regiões com rios intermitentes sujeitos a altas taxas de evaporação e que busca a solução da equação:

¹ CAMPOS J. N. B. (1987). *A procedure for Reservoir Sizing on Intermittent Rivers under Evaporation ate. Tese de Doutorado, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.*

$$PE = f (K, CV, m, PJ, Ev, a, m)$$

Onde:

PE = Probabilidade do reservatório esvaziar em um dada ano;

K = Capacidade do reservatório;

Cv = Coeficiente de variação dos deflúvios anuais;

μ = Valor médio dos deflúvios anuais;

PJ = Probabilidade de um ano ser totalmente seco;

Ev = Lâmina evaporada do reservatório durante a estação seca;

α = Fator de forma da bacia hidráulica obtido pela equação cota x volume:

$$V = \alpha h^3;$$

m = Retirada anual do reservatório para fins utilitários.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas, o autor reuniu os parâmetros nos adimensionais:

$$f_k = \frac{K}{\mu} \quad \text{Fator adimensional de capacidade}$$

$$f_M = \frac{M}{\mu} \quad \text{Fator adimensional de retirada}$$

$$f_E = \frac{3\alpha^{1/3} E_v}{\mu^{1/3}} \quad \text{Fator adimensional de evaporação}$$

Desta maneira a equação fica simplificada para: PE = f (fE, CV, PI, fk, fM)

- MEMORIA DE CÁLCULO:

a) Deflúvio médio anual (μ)

A lâmina média de escoamento na bacia foi calculada com base no estudo de deflúvio no capítulo anterior.

$$\mu = 42.185.466 \text{ m}^3$$

b) Coeficiente de variação dos deflúvios anuais (CV)

Para uma média de 42,2 hm³ e um desvio padrão de 45,1 hm³/ano, temos um **CV=1,07**.

Apresentamos a seguir o **Quadro 2.41** com o cálculo dos volumes regularizados, sangrados e evaporados.

Quadro 2.41 - Série Fluviométrica Gerada Afluente ao Reservatório Frecheirinha

Cota (m)	Percentual Regularizado (%)	Percentual Evaporado (%)	Percentual Sangrado (%)	Volume Anual Regularizado (hm ³)	Volume Anual Evaporado (hm ³)	Volume Anual Sangrado (hm ³)	Vazão Média Regularizada (m ³ /s)
128	36,50%	8,50%	55,00%	15,40	3,59	23,20	0,51
129	42,50%	10,50%	47,00%	17,93	4,43	19,83	0,60
130	47,50%	11,50%	41,00%	20,04	4,85	17,30	0,67
131	49,00%	12,00%	39,00%	20,67	5,06	16,45	0,69
132	52,00%	13,00%	35,00%	21,94	5,48	14,76	0,73
133	55,00%	14,00%	31,00%	23,20	5,91	13,08	0,77
134	57,00%	15,00%	28,00%	24,05	6,33	11,81	0,80

2.4.4.2 - Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade da Barragem.

A estimativa de custo teve como base o valor da obra na licitação de junho de 2014 (nº 20140001). O custo somente do maciço, segundo o valor estimado na licitação foi de 23,1 milhões de reais, com data base do orçamento de junho/2013. Utilizando o índice de reajuste IGP-M, este valor foi atualizado para de dezembro/2017 ficando da ordem de 29,7 milhões de reais.

O maciço apresentava um volume total de aproximadamente 1,00 milhão de metros cúbicos, para uma altura de 27,5 metros. Com base nessa geometria de licitação, e admitindo a simplificação de manter constante a folga de projeto para 2,50 metros, foram feitas estimativas de custo para alturas do maciço (da cota 128m até a cota 134m), ver **Quadro 2.42** apresentado a seguir.

Quadro 2.42 - Estimativa de Custo da Barragem Frecheirinha para Diferentes Alturas

Cota de Acumulação (m)	Cota do Coroamento (m)	Altura da barragem (m)	Volume do Maciço (m ³)	Valor Estimado da Barragem Principal (Milhões de R\$)
134	136,5	29,4	582.216	17,2

Cota de Acumulação (m)	Cota do Coroamento (m)	Altura da barragem (m)	Volume do Maciço (m³)	Valor Estimado da Barragem Principal (Milhões de R\$)
133	135,5	28,5	532.723	15,7
132	134,5	27,5	482.046	14,2
131	133,5	26,6	427.441	12,6
130	132,5	25,7	418.641	12,4
129	131,5	24,7	380.000	11,2
128	130,5	23,8	340.155	10,0

O **Quadro 2.43** apresenta o cálculo do custo do volume regularizado: valor da obra x volume regularizado.

Quadro 2.43 - Cálculo do Custo do Volume Regularizado

Cota de Acumulação (m)	Valor da Obra (Milhões de R\$)	Volume Regularizado por Ano (hm³)	Custo do Volume regularizado (R\$/m³)
134	17,2	24,05	0,72
133	15,7	23,20	0,68
132	14,2	21,94	0,65
131	12,6	20,67	0,61
130	12,4	20,04	0,62
129	11,2	17,93	0,63
128	10,0	15,40	0,65

Analisando-se o **Quadro 2.41** conclui-se que o menor custo do m³ regularizado é o volume de acumulação do açude de 82,2 hm³, correspondente a cota 131,0m do reservatório.

2.4.4.3 - Estudos de Cheias

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de cheia sintética, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. As cheias de projeto com período de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da Barragem Frecheirinha. O programa utilizado foi o HEC-HMS, desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

Nos padrões definidos pelo U.S. Army Corps of Engineers - e disponíveis no programa - são três os diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas: 1) a cheia de projeto padrão (standard project storm); 2) a cheia máxima provável e, 3) a cheia de projeto de diferentes durações derivadas de dados área-altura de chuva.

O método da cheia de projeto de diferentes durações foi desenvolvido pelas agências americanas National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros foram inicialmente estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. O intervalo de cálculo deve ser suficientemente curto para definir com precisão o hidrograma de cheia. Foi adotado um intervalo de tempo (Δt) igual a 10 minutos.

2.4.4.4 - O método Curva- Número

O método Curva- Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo SCS do USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea e (4) condição de umidade antecedente.

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2.1)$$

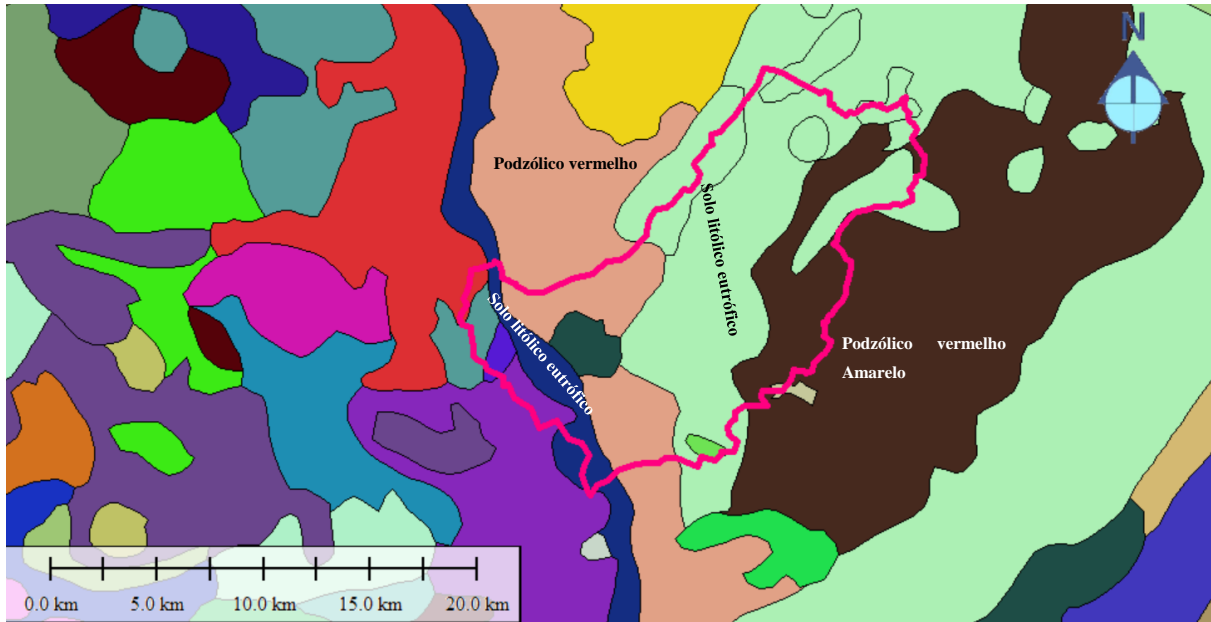
Onde: Q = escoamento, P = precipitação, S = capacidade máxima de armazenamento do solo e I_a = perdas antes do início do escoamento. A fórmula acima foi trabalhada fazendo-se algumas considerações chegando a:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.2)$$

Em que CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Os solos da bacia hidrográfica da barragem

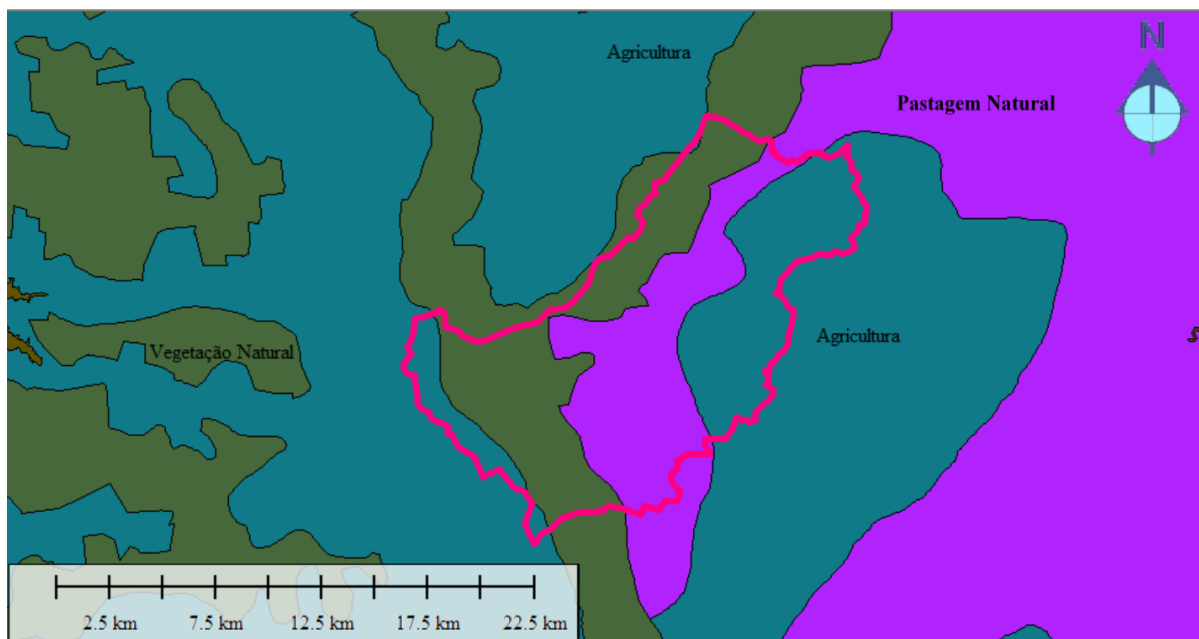
Frecheirinha, são basicamente do tipo litólico e podzólico, no qual podem ser agrupados principalmente nas categorias apresentadas na **Figura 2.52**.

Figura 2.52 - Mapa Pedológico - Barragem Frecheirinha



Também é levado em consideração a vegetação existente e o tipo de uso do solo. O tipo de uso foi definido em duas grandes classes: Áreas de agricultura e áreas de pastagem, ver **Figura 2.53** a seguir.

Figura 2.53 - Mapa de Uso e Ocupação de Solo da Bacia da Barragem Frecheirinha



O CN da bacia hidrográfica foi estimado a partir das informações do uso e ocupação do solo, tipo de solos e umidade antecedente da bacia, usando tabelas publicadas pelo SCS.

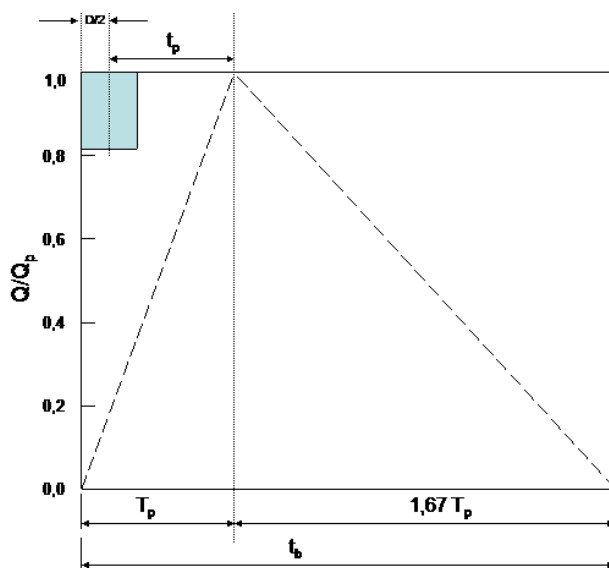
No caso da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha, a estimativa do valor de CN foi definida para cada região de solo (para determinação do grupo hidrológico em que enquadrava), e detalhando os tipos de uso de solo presentes, no qual se obteve o valor médio de CN= 78.

2.4.4.5 - Método Chuva-Deflúvio Adotado

A aplicabilidade do Método do Hidrograma Unitário se dá somente em bacias hidrográficas com áreas até 2.500 km². A bacia hidrográfica da Barragem Frecheirinha está dentro deste limite.

O programa HEC-HMS dispõe de várias metodologias para a transformação de precipitação em escoamento superficial. A metodologia adotada foi o Método do Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido pelo U. S. Soil Conservation Service (1972). Este método, largamente utilizada em estudos desta natureza no Nordeste, se baseia em um hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários naturais de bacias de variadas extensões e localizações geográficas nos Estados Unidos. De simples aplicação, depende basicamente do tempo de concentração da bacia e nas relações geométricas.

Figura 2.54 - Hidrograma Unitário Sintético do “Soil Conservation Service”



O Hidrograma Triangular do SCS tem seu tempo de pico igual a:

$$t_p = 0,5t_r + 0,6t_c \quad (\text{HU-1})$$

Onde: t_r = tempo de duração da chuva unitária, em horas (recomenda-se $t_r=0,2t_c$ para reduzir o trabalho de cálculo), e t_c = tempo de concentração da bacia (em horas).

O tempo de base t_b é dado por:

$$t_b = 2,67t_p \quad (\text{HU-2})$$

Obtém-se a descarga de pico q_p observando-se que a área do triângulo representa o volume escoado da bacia para um deflúvio de 1mm.

$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} \quad (\text{HU-3})$$

Onde: P é igual a 1mm, A é a área da bacia e t_b é o tempo de base.

2.4.4.6 - Hidrograma Unitário Sintético da Bacia

Utilizando-se as equações (HU-1) a (HU-3) e sabendo-se o tempo de concentração, têm-se que o hidrogramas unitários das mesmas, para uma chuva de 1mm e de duração 1/5 do tempo de concentração.

2.4.4.7 - Determinação da Precipitação Efetiva (PE)

A retenção de parte da chuva nas depressões do solo e sua infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-deflúvio, determinando a quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, conhecida como precipitação efetiva. Segundo o Soil Conservation Service:

$$PE = (P - 5.080/CN + 50,8) / (P + 20.320/CN - 203,2) \quad (\text{HU-4})$$

O parâmetro CN, denominado “curve number” varia de 0 a 100, conforme a permeabilidade do solo, cobertura vegetal, textura da superfície e umidade antecedente do solo, e se encontra tabelado para diversos tipos de cobertura vegetal, tratamento agrícola e grupos hidrológicos de solos classificados de acordo com sua permeabilidade.

2.4.4.8 - As Cheias Máximas Afluentes e Efluentes

Adotando um cenário de cheia do reservatório para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, considerando quatro opções para a largura do vertedouro tipo “Creager” – 40, 60, 80, 100 e 120m obteve-se os seguintes resultados de lâmina de sangria e vazões afluentes e efluentes, ver **Quadro 2.44** e **Quadro 2.45** a seguir.

Quadro 2.44 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=1.000 anos

Milenar	Largura do Vertedor				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	912,21 m³/s				
Cheia Efluente	79,70 m ³ /s	111,96 m ³ /s	140,93 m ³ /s	167,23 m ³ /s	191,37 m ³ /s
Cota operacional	131,97 m	131,92 m	131,89 m	131,86 m	131,83 m
Lâmina	0,97 m	0,92 m	0,89 m	0,86 m	0,83 m
Amortecimento	91,30%	87,70%	84,60%	81,70%	79,00%

Quadro 2.45 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=10.000 anos

Decamilenar	Largura do Vertedor				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	1.118,1 m³/s				
Cheia Efluente	104,79 m ³ /s	147,42 m ³ /s	185,83 m ³ /s	220,84 m ³ /s	253,16 m ³ /s
Cota operacional	132,16 m	132,11 m	132,07 m	132,03 m	132,00 m
Lâmina	1,16 m	1,11 m	1,07 m	1,03 m	1,00 m
Amortecimento	90,60%	86,80%	83,40%	80,20%	77,40%

Observa-se que a cheia Milenar atinge valores de 912,21 m³/s e 1.118,1 m³/s para a Decamilenar. O amortecimento da cheia também foi significativo, variando aproximadamente entre 77,4% a 91,3%.

No Tomo 3A – Hidrologia (Anexos), que faz parte do Volume I - Estudos Básicos, da Etapa A2 deste Projeto, são apresentados os hidrogramas de cheia.

2.4.5 - ESTUDO DE PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO

O estudo de probabilidade de enchimento foi realizado por meio da simulação mensal da variação de volume do reservatório para conjuntos de anos da série pseudo histórica de vazões afluentes.

A simulação foi realizada por meio da equação do balanço hídrico:

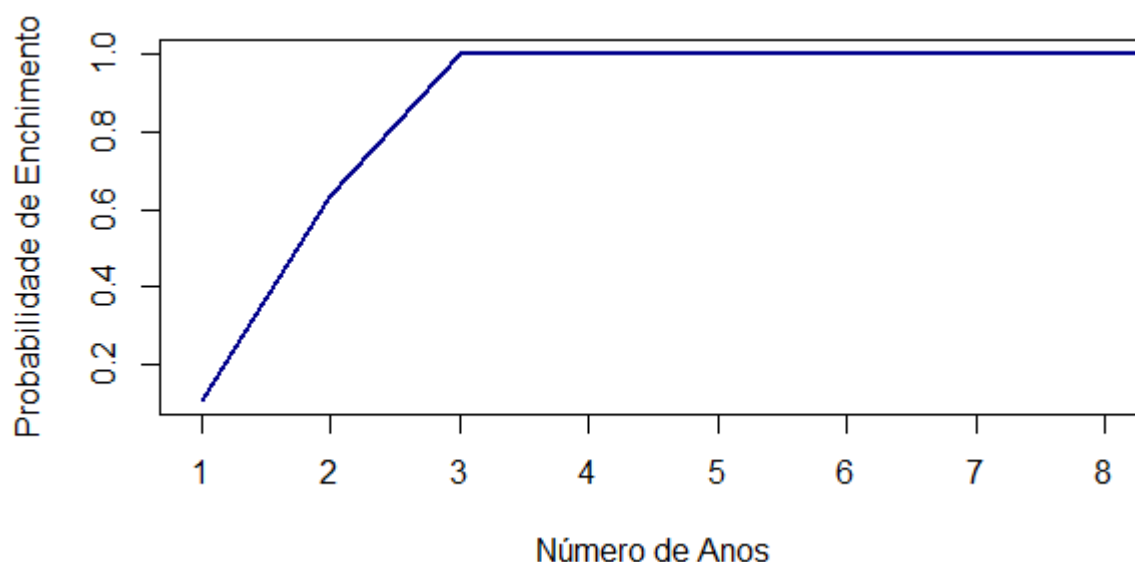
$$V_{t+1} = V_t + Q_{in} - EA_s(V_t) - Q_{out} - Vert$$

onde V_{t+1} é o volume do reservatório ao final do mês t em hm^3 , V_t é o volume do reservatório no início do mês t em hm^3 , Q_{in} é a vazão em afluente ao reservatório no mês t em $\text{hm}^3/\text{mês}$, E é a lâmina evaporada mensal média em hm , A_s é a área do espelho d'água em hectares que é função do volume do reservatório, Q_{out} é a vazão regularizada em $\text{hm}^3/\text{mês}$ determinada no capítulo 6 e V_{vert} é o volume vertido no intervalo em hm^3 .

Para encontrar as probabilidades de enchimento, foram simulados todos os conjuntos sequenciais de anos da série de vazões afluentes e analisada a frequência com que o reservatório alcançou o volume máximo nas simulações. Deste modo, caso o reservatório apresentasse probabilidade de enchimento de 0.6 para 3 anos significaria que em 60% de todos os conjuntos de 3 anos sequenciais da série histórica, o reservatório apresentou volume completo pelo menos uma vez.

Neste estudo foram realizadas análises para os conjuntos de 1 a 8 anos sequenciais e as referidas probabilidades de enchimento estão apresentadas na Figura 2.55.

Figura 2.55 - Curva de Probabilidade de Enchimento



A Figura 2.55 mostra que o reservatório possui baixa probabilidade de enchimento para 1 ano (cerca de 11%) e já apresenta probabilidade considerável para os conjuntos de 2 anos (63%).

Também se verifica que a partir de 3 anos a probabilidade de enchimento do reservatório se torna 100%. Esta probabilidade de 100% significa que o reservatório encheu para todas as sequências de 3 anos ou mais da série histórica o que, por ter se dado a partir de conjuntos de apenas 3 anos, é um indicador positivo da viabilidade hidrológica do reservatório.

2.4.6 - ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO

Para analisar a possibilidade de assoreamento de reservatórios são geralmente utilizadas técnicas de medições de campo em conjunto com modelagem matemática. Entretanto estas técnicas são dispendiosas considerando que no Estado não existe rede de monitoramento de sedimentos e devem ser simplificadas para o projeto de reservatórios do semiárido cearense visto que por características naturais ou pela existência de densas redes de reservatórios menores apresentam taxas de assoreamento bem inferiores a de outras regiões do país (NEGREIROS e LIMA NETO, 2014).

Araújo (2003) considerou a simplificação de que os sedimentos transportados nas regiões semi-áridas provêm em maior parte da erosão laminar, não havendo erosão nem depósito de sedimentos nos rios e desenvolveu o modelo Hidrosed de estimativa de assoreamento em reservatórios de clima semiárido baseado na equação universal de perda de solo (USLE).

O Hidrosed estima o assoreamento a partir de parâmetros topográficos, pluviométricos, pedológicos e de cobertura vegetal da bacia hidrográfica e sua aplicação para reservatórios do semiárido cearense encontrou taxa média de assoreamento de 1,85% por década (ARAUJO, 2003). Entretanto, apesar de mais simples, o Hidrosed ainda é dispendioso e necessita de parâmetros obtidos por medições de campo.

Visando a elaboração de uma metodologia mais rápida e simplificada e possíveis de aplicação na fase de planejamento, Negreiros e Lima Neto (2014) desenvolveram um modelo empírico que relaciona a taxa de assoreamento dos reservatórios exclusivamente ao regime de precipitação da bacia hidrográfica.

Este modelo denominado de Método Simplificado foi calibrado e teve seus parâmetros determinados para os reservatórios do Estado do Ceará resultando na seguinte equação:

$$\begin{cases} V_{t+1} = V_t * (1 - \varphi) \\ \varphi = 93,9 * \sum_{m=1}^{12} R'_m \\ R'_m = p^{1.5} / P^3 \end{cases}$$

onde V_{t+1} é o volume do reservatório ao final do ano t, V_t é o volume do reservatório no início do ano t, φ é a taxa de assoreamento anual do reservatório, R'_m é a erosividade média da chuva para cada um dos meses, p é a precipitação média do mês e P é a precipitação anual média.

O Método Simplificado foi o adotado para este projeto por meio da utilização da equação anterior e o regime médio e precipitações, as erosividades e a taxa de assoreamento calculada estão apresentados no Quadro 2.46.

Quadro 2.46 - Determinação da taxa de assoreamento (φ)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
p (mm)	132.3	198	281.4	269.6	136.6	47.5	19.3	4.8	3.3	6.1	10	40.7	1149.5
R'm	1E-06	2E-06	3E-06	3E-06	1E-06	2E-07	6E-08	7E-09	4E-09	1E-08	2E-08	2E-07	1E-05
φ(%/ano)	0.1												

A taxa de assoreamento (φ) encontrada de 0.1% ao ano ou de 1% por década mostra a redução percentual da capacidade de armazenamento em relação à capacidade inicial e indica que seriam necessários 1000 anos para que o reservatório após a construção assoreasse completamente.

3 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

De acordo com os estudos de alternativas apresentados no Tomo 1 - Relatório de Concepção do Anteprojeto, Volume II da Etapa A2, a Alternativa 01 (eixo 1) da Barragem Frecheirinha se mostrou ser a mais vantajosa. Esta decisão foi baseada nos estudos hidrológicos, na cartografia, na morfologia dos boqueirões, topografia das bacias e nas investigações geológicas e geotécnicas realizadas em campo e nos ensaios de laboratório e, principalmente, nos estudos socioeconômico e ambientais.

O arranjo final da Alternativa 1 é composto por uma barragem (maciço principal) de seção do tipo mista (terra/enrocamento), três pequenos diques de terra de fechamento da bacia hidráulica (pontos de fuga), um vertedouro escavado na ombreira direita, com soleira tipo creager e canal de restituição revestido de concreto com bacia de dissipação e uma tomada de água com galeria envelopada na ombreira direita (estaca 29+10,00), conforme mostram a **Figura 3.1**, a seguir, e os desenhos do Tomo 2 - Desenhos do Volume I - Projeto Executivo.

As principais características técnicas das obras e das estruturas que compõem este Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha são apresentadas a seguir:

- Barragem Principal;
- Vertedouro;
- Diques;
- Tomada D'Água.

3.1 - BARRAGEM PRINCIPAL

O Eixo 1 da Barragem Frecheirinha constitui-se de uma seção mista, com o talude de montante constituído integralmente por solos das jazidas estudadas, classificados como SC, areia argilosa e/ou SM, areia siltosa, encostado a um filtro chaminé vertical, e o talude de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de ardósia coerente a muito coerente, resultante dos produtos das escavações obrigatórias prevista para a construção do vertedouro.

A Seção Tipo, no local de maior altura da barragem, está apresentada na **Figura 3.2** a seguir.

Figura 3.1 - Arranjo Geral e Localização das Obras da Barragem Frecheirinha

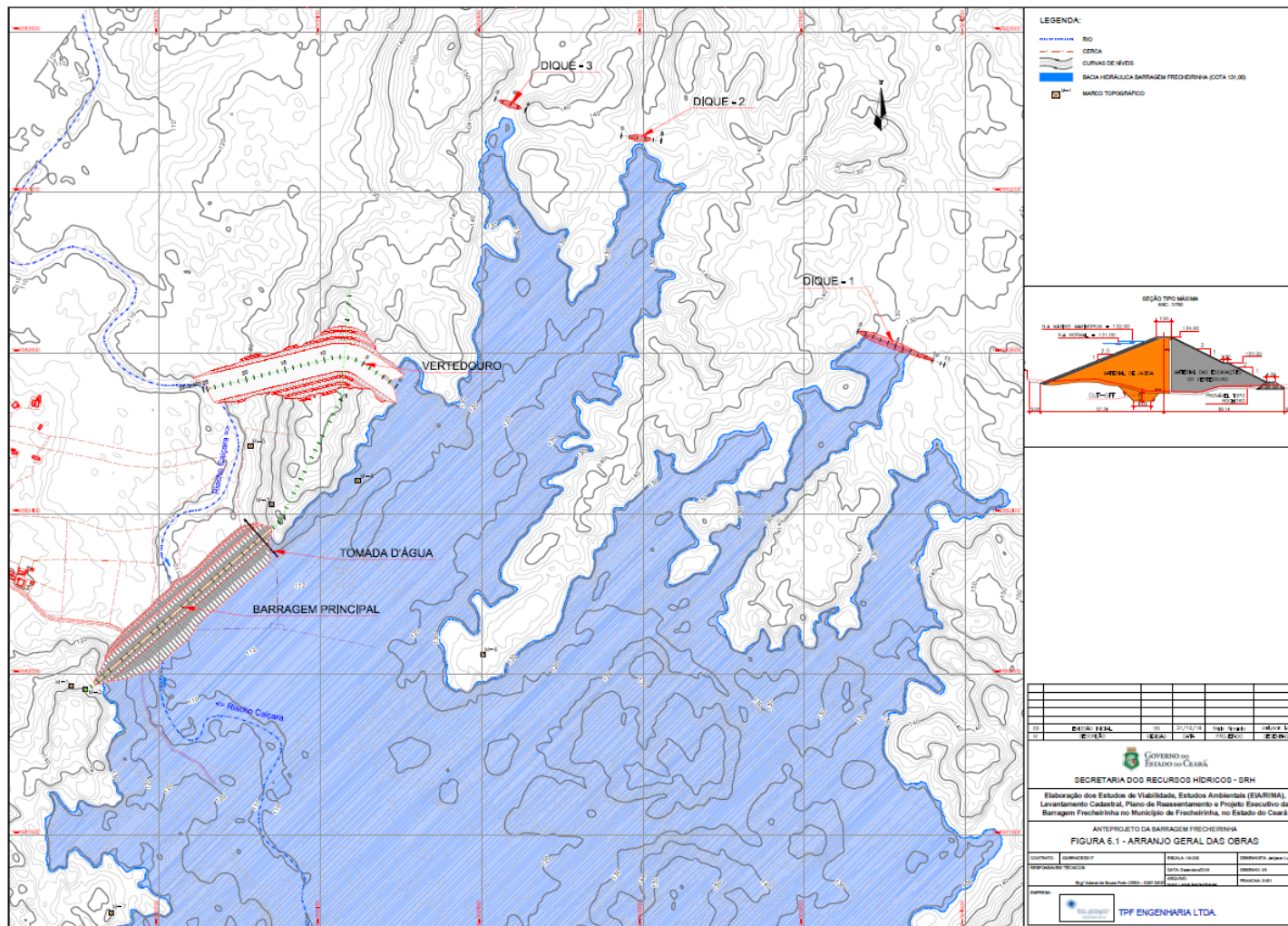
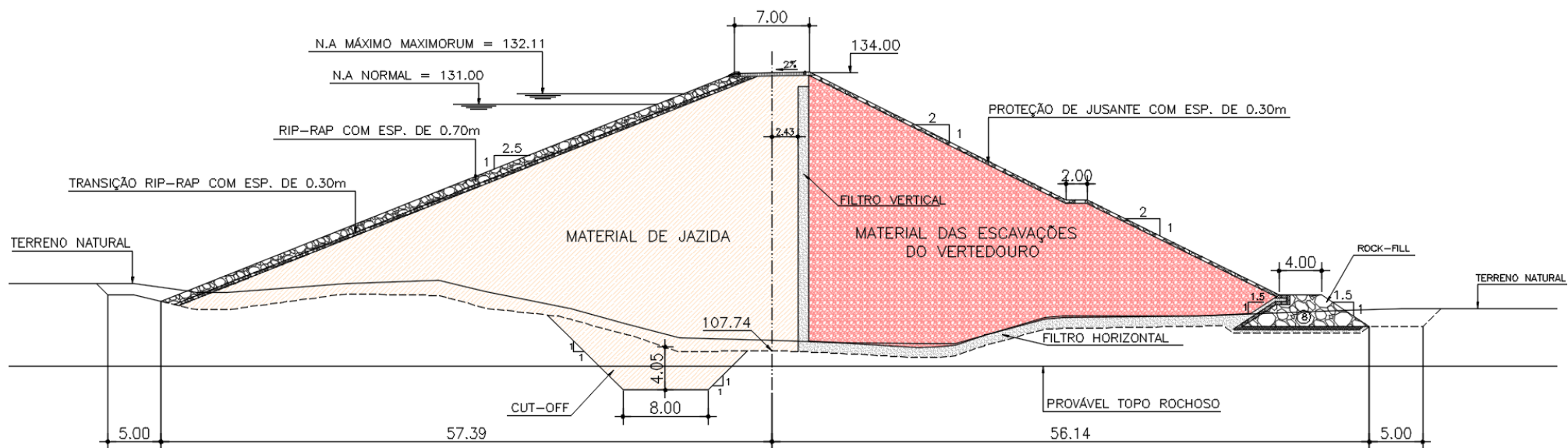


Figura 3.2 - Seção Tipo da Barragem



O maciço da barragem será construído entre as estacas 1+7,50 a 31+0,50, com a crista do coroamento na cota 134,00 m, largura do coroamento igual a 7,00 m e altura máxima de 27,00 m.

A barragem é do tipo seção mista (terra/enrocamento) e será executada com solos das jazidas J-08, J-09, J-10 (maior volume disponível, conforme mostra o relatório do Tomo 4A), J-03, J-02 e J-04, nessa sequência hierárquica de utilização de material devido a sua distância média ao eixo da barragem, na parte da seção a montante do filtro vertical, inclusive cut-off, já a parte da seção a jusante do filtro vertical será executada prioritariamente com material oriundo das escavações obrigatórias do vertedouro, de acordo com a **Figura 3.2**.

Os materiais a serem empregados na construção do maciço e suas características granulométricas são apresentadas no **Tomo 3 - Memória de Cálculo - Volume I**.

Na camada final da crista, com 0,20 m de espessura, será utilizado com cascalho natural argiloso ou produto de britagem, com caimento de 2% para montante e nos limites dos bordos colocados meios-fios com abertura para montante.

Como observado nos estudos geotécnicos, os materiais da área do vertedouro na zona mais superficial onde foram realizadas as sondagens SPP (pá e picareta), profundidade máxima de 2,00 m, apresentam características bastante semelhantes aos materiais das jazidas estudadas, dessa maneira admite-se a aplicação dos materiais das escavações obrigatórias do vertedouro no talude de jusante do maciço da barragem, de modo que os materiais das escavações mais superficiais devem ser selecionadas e empregados na parte mais interna do talude imediatamente após o filtro vertical, enquanto os materiais das escavações mais profundas serão também selecionados e empregados na parte mais externa do talude de jusante.

Anteriormente no item 2.3.3 é apresentado um resumo geral dos resultados dos ensaios geotécnicos dos materiais das 10 jazidas estudadas e também dos materiais coletados na área do vertedouro através das sondagens SPP. No relatório dos Estudos Geológicos e Geotécnicos, Tomo 4 e Tomo 4A, Volume I - Estudos Básico da Etapa A2, são apresentados todos os boletins com as classificações dos materiais

coletados nas jazidas e área do vertedouro e os respectivos resultados dos ensaios realizados.

A trincheira de vedação (cut-off) será executada abaixo da linha das escavações obrigatórias, nos locais e nas profundidades mostradas nas seções transversais da barragem e no perfil geológico do eixo barrável. A largura do cut-off foi definida baseado nos estudos desenvolvidos pelo U.S. Bureau of Reclamation.

A escavação obrigatória tem a finalidade de garantir que os espaldares fiquem assentes em solo com SPT > 10 golpes/30cm para a zona com altura superior a 20,00m e SPT > 7 golpes/30cm para as demais zonas da barragem. Tomou-se o cuidado de garantir que a base do cut-off penetre pelo menos 50cm dentro do solo residual ou da rocha decomposta.

Em função dos resultados das sondagens e dos ensaios de perda de água realizados no maciço rochoso da fundação, foi previsto a realização de uma cortina de injeção ao longo do eixo do cut-off da barragem e uma cortina de injeção transversal ao eixo do vertedouro, conforme projeto.

Os furos das cortinas de injeção terão uma profundidade de 12,00 m, a partir da linha de rocha. Serão executados inicialmente os furos primários denominados de exploratórios, espaçados a cada 12,0 m. Os furos exploratórios serão executados com sonda rotativa diâmetro ØNX (75,3 mm) e em todos os furos primários (exploratórios) serão executados ensaios de perda d'água de cinco estágios, em segmentos de 3,0 em 3,0 metros.

Em seguida serão executados os furos secundários espaçados a cada 6,0 m e na sequência serão injetados os furos terciários, espaçados a cada 3,00 m, que serão executados com equipamento roto-percussor com (rock-drill) de diâmetro de 3" (76,2 mm). Caso, se qualquer um dos furos terciários apresentar um consumo de calda superior a 20 kg/m de cimento, serão executados dois furos de ordem superior ao lado deste a meia distância entre os furos adjacente e assim sucessivamente.

Para a seção da barragem o talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) e o talude de jusante 1,0 (V): 2,0 (H). O talude de montante será protegido da ação da energia das ondas do reservatório com a construção de um Rip-Rap formado por

uma camada de 0,70 m de espessura, de blocos de rocha sã da pedreira P-01, assentes sobre uma camada de transição com 0,30 m de espessura, formada por produtos de britagem.

A drenagem superficial é garantida por meio fios dispostos no coroamento e por uma rede de canaletas sobre o talude de jusante, posicionadas a partir da berma projetada (berma na cota 122,00 m) e nos encontros laterais com o terreno natural. A drenagem superficial é apresentada nos **desenhos 43 a 44 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I**.

Para o sistema de drenagem interna do maciço da barragem foram previstos um filtro vertical e um tapete drenante, complementado por uma trincheira drenante. O filtro vertical tipo chaminé terá 1,00 m de espessura e será executado com areia dos areais A-01 a A-04 e ficará com o topo na cota 132,70 m, 1,70 m acima da cota da soleira.

O filtro horizontal (dreno tipo sanduíche) possui espessura total de 1,00 m e consiste na superposição de três camadas drenantes composta por duas camadas inferior e superior de areia grossa, extraída dos areais A-01 a A-04, com espessura de 0,30m cada, e por uma camada intermediária de brita na espessura de 0,40m tendo as mesmas características granulométricas da brita da transição do enrocamento de pé (Rock-Fill).

A proteção no pé no talude de jusante será formada por uma camada de enrocamento (Rock-Fill) no leito do rio, com seção trapezoidal de 4,0 m de largura, taludes de 1:1,5 (V:H) e topo fixado na cota 113,00 m, a partir daí em direção às ombreiras está previsto a execução de filtro de pé.

Para a transição, entre o dreno de areia e esta proteção de enrocamento, está prevista a colocação de uma camada de transição composta de brita corrida, semelhante ao material usado na proteção do talude de jusante, com espessura de 0,50 m.

3.1.1 - INSTRUMENTAÇÃO

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

- Verificar as pressões neutras nas fundações da barragem;
- Verificação das deformações verticais pós construção
- Verificação do nível d'água no reservatório.

Inclui-se no sistema de monitorização da barragem, instrumentos que permitam a observação do comportamento hidráulico do maciço e da sua fundação, na sequência do tratamento que vai ser executado. Com esse objetivo foram considerados piezômetros hidráulicos em seções da barragem.

Considerando a extensão da barragem, a sua altura e a natureza do maciço de fundação, considerou-se implementar a instrumentação de 09 seções transversais, distribuídas na calha do rio e nas ombreiras direita e esquerda, sempre com a implantação aos pares conforme mostra o **desenho 42 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I**.

Portanto, as seções instrumentadas com piezômetros foram as das estacas 5+0,00; 8+0,00; 11+0,00; 14+0,00; 17+0,00; 20+0,00; 23+0,00; 26+0,00 e 29+0,00.

A verificação do deslocamento superficial da barragem será feita colocando marcos superficiais referenciados, para medidas de deslocamento vertical após a fase construtiva. Os marcos de superfície serão colocados no coroamento da barragem e totalizam 02 unidades. A posição de cada marco pode ser visualizada em planta no referido desenho.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas (padrão ANA - Agência Nacional de Águas) dispostas nas curvas de nível dentro d'água na ombreira esquerda, de forma a ser visível a partir do coroamento da barragem.

3.2 - VERTEDOURO

O vertedouro da Barragem Frecheirinha (Alternativa 2 escolhida para ser detalhada) foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local estando localizado a cerca de 470m da ombreira direita da barragem.

O eixo longitudinal vertedouro possui uma extensão de 479,75 m, o qual foi materializado em campo com estaqueamento de 20 em 20 metros para que as escavações projetadas ocorram de acordo com as notas de serviço do vertedouro definidas a partir das seções transversais.

A obra do vertedouro é sequenciada de montante para jusante da seguinte forma: inicia com o canal de aproximação que possui 256,26 m de comprimento; em seguida no final do canal de aproximação foi projetado o vertedouro tipo Creager com 13,78 m de comprimento longitudinal; na sequencia encontra-se o canal rápido com 138,10 m de extensão, seguido da bacia de dissipação com comprimento de 53,76 m e, finalmente, o trecho de desague no rio do canal de restituição com 17,85 m de comprimento. O canal final que conduz o fluxo do vertedouro até o riacho Caiçara será escavado em solo e não possui revestimento.

O canal de aproximação do vertedouro será escavado na cota 129,00 m, com largura de base de 60,00 m, enquanto os muros laterais verticais que confinam o Creager terão cota de topo igual a 134,00 m (mesma cota do coroamento da barragem), conforme os desenhos do projeto. A soleira do Creager, que define a cota de sangria da barragem, tem crista na cota 131,00 m.

O canal de restituição será todo revestido em concreto armado e preserva a mesma largura útil de 60 m do canal de aproximação; ele possui muros laterais que seguem com cota do topo variável até o final da bacia de dissipação e uma laje de fundo em concreto armado desde o início do canal rápido até o final da bacia de dissipação. Sob a laje do vertedouro foi projetado um sistema de drenagem profunda para o alívio da subpressão, além de chumbadores para ancorá-la na ardósia.

3.2.1 - JUNTAS DE DILATAÇÃO

Na laje do canal restituição e da bacia de dissipação serão construídas juntas longitudinais em toda a sua extensão, sendo as extremas no contato das sapatas dos muros laterais com a laje e as demais situadas na região central das lajes, num espaçamento de 30 m. Juntas transversais serão implantadas no contato da laje de jusante com o pé do Creager, nos pontos da laje de jusante ao longo do rápido a cada 30 m e onde ocorre mudança de inclinação na entrada da bacia de dissipação.

As juntas longitudinais totalizam 3 unidades enquanto as transversais são 11 unidades. Nos muros laterais ao sangradouro serão realizadas juntas que se desenvolverão verticalmente pela face e horizontalmente pela sapata, localizadas nos pontos de encontro de tipos distintos de muros e em espaçamento regulares (predominantemente coincidente com o estaqueamento inteiro), conforme projeto.

As juntas do concreto serão vedadas com juntas termoplásticas de PVC de 22 cm de largura, do tipo Fugenband O-22.

3.2.2 - SISTEMA DE DRENAGEM DA LAJE DO VERTEDOIRO

Abaixo da laje de revestimentos do canal de restituição serão construídos drenos que objetivam coletar fluxos d'água e combater a subpressão que estes fluxos exerceriam na laje. Os drenos são do tipo espinha de peixe, cujas linhas principais correm nas laterais após a face externa das sapatas dos muros, paralelas às juntas longitudinais, recebendo cada principal as linhas secundárias que formam um ângulo de chegada de 45%, apontadas para a direção do fluxo. Estas linhas secundárias chegam às linhas principais num intervalo típico de 20 m.

As seções dos drenos principais e secundários, escavados na fundação, tem 0,30 m de altura por 0,30 m de largura, e são preenchidas por material britado sem finos e envolvida externamente por um geotêxtil, tipo Bidin OP-40. Internamente à camada de brita transcorre um tubo de dreno PEAD de 150mm e 200 mm de diâmetro, respectivamente, do tipo Kananet ou similar.

Os drenos primários caem a uma distância de 0,50m do ponto central da laje, para cada lado (no sentido dos muros laterais), até se unir as caixas de passagem de concreto de seção externas de 0,60 x 0,60, situadas junto a parte externa das sapatas dos muros laterais. A partir de cada caixa coletora transcorre a linha de drenos secundários formada por tubo PEAD perfurado de 200 mm, cuja declividade segue a mesma do rápido (10%) e no trecho plano da bacia de dissipação com o mínimo de 0,5%. Este condutor terá um total de 16 caixas de passagem, sendo 8 em cada lado.

Nas **Figuras 3.3 e 3.4**, a seguir, e nos **desenhos 24 a 30 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I**, pode ser observado os detalhes das estruturas do vertedouro e das proteções da bacia de amortecimento e do canal de restituição.

Figura 3.3 - Planta do Vertedouro

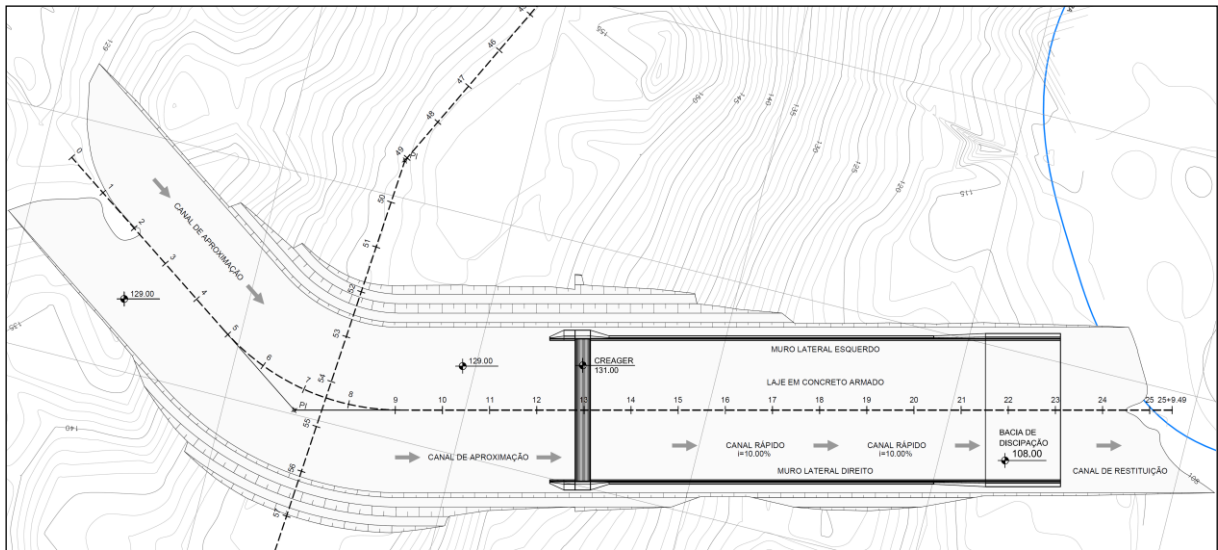
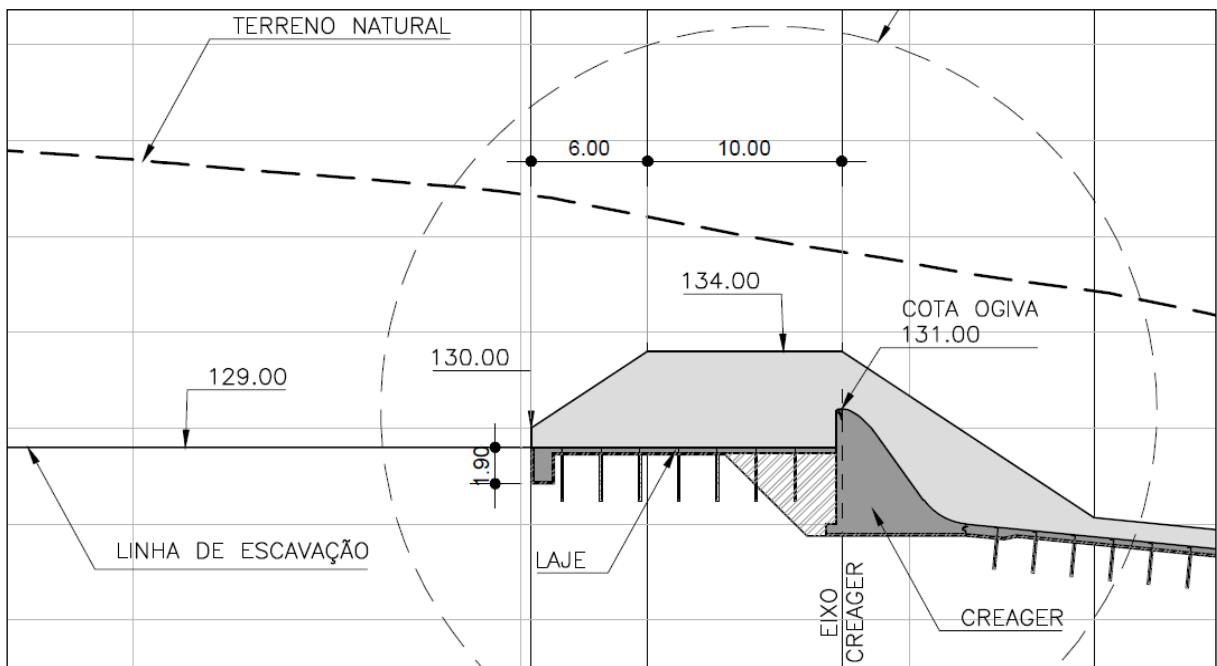


Figura 3.4 - Corte Longitudinal do Vertedouro e Detalhe do Perfil Creager



3.3 - DIQUES

Os três diques de terra serão executados prioritariamente com solos da jazida J-10, com coroamento na cota 134,00 m, largura do coroamento igual a 4,00 m e altura máxima de 4,00 m.

Os três diques têm as seguintes características topográficas:

- Dique 1: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.582.854,43N e 303.733,59E e Z=135,97m) seguindo em linha reta até à estaca E11+8,97m, onde foi implantado M2 (9.582.771,41N e 303.947,15E, e Z=136,38), totalizando 228,97m e o comprimento do dique igual a 192,10m.
- Dique 2: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.583.341,11N e 303.146,28E e Z=138,51m) seguindo em linha reta até à estaca E12+0,00m, onde foi implantado M2 (9.583.310,18N e 303.384,34E, e Z=138,95), totalizando 240,00m e o comprimento do dique igual a 50,38m.
- Dique 3: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.583.432,69N e 302.833,30E e Z=138,84m) seguindo em linha reta até à estaca E4+0,00m, onde foi implantado M2 (9.583.405,06N e 302.908,25E, e Z=140,14), totalizando 80,00m e o comprimento do dique igual a 54,80m.

Os materiais a serem empregados na construção do maciço e suas características granulométricas são apresentados no **Tomo 3 - Memória de Cálculo - Volume I**.

Na camada final da crista, com 0,20 m de espessura, será utilizado com cascalho natural argiloso ou produto de britagem, com caimento de 2% para montante e nos limites dos bordos colocados meios-fios com abertura para montante.

Para a seção dos diques os taludes de montante e jusante são iguais a 1,0 (V): 2,0 (H). O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um Rip-Rap formado por uma camada de 0,50 m de espessura, de blocos de rocha sã da pedreira P-01.

O talude de jusante será protegido por uma camada de 0,30 m de espessura de material britado (bica corrida), em toda sua área.

3.4 - TOMADA D'ÁGUA

3.4.1 - INTRODUÇÃO

As alternativas de localização e concepção da tomada d'água foram, basicamente, definidas pelas condições geotécnicas associadas às soluções de barragens estudadas, verificando nos estudos de otimização que a melhor solução seria localizar a tomada d'água a 277m da margem direita do riacho Caiçara (estaca 29+10,00m), conforme indicado no desenho 31 do projeto executivo, sobre ocorrência rochosa que se desenvolve paralelamente ao rio, em quase toda a extensão da galeria a ser construída.

Na concepção desta alternativa, procurou-se seguir aproximadamente o padrão das estruturas e condições operacionais adotadas na quase totalidade das tomadas d'água das barragens da SRH, com a solução de galeria sob pressão com controle operacional de jusante.

3.4.2 - DESCRIÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA

A estrutura da tomada d'água da barragem Frecheirinha foi concebida tanto com a finalidade de permitir a adução da vazão regularizada de 0,655 m³/s ou 655 l/s (com 90% de garantia), como possibilitar o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial no tempo médio aproximado de **133 dias (cerca de 04 meses)**. No **Tomo 3 - Memória de Cálculo, Volume I**, apresenta-se a memória de cálculo da tomada d'água.

A obra da tomada de água terá extensão total de 136,00 m e será constituída de duas obras a montante e a jusante além da tubulação de diâmetro Ø=1200mm em aço ASTM A-36 (espessura=1/2"), revestida em concreto estrutural para resistir a todos os esforços atuantes, ficando a tubulação de aço apenas com a função de blindagem de forma interna para o concreto.

Eixo da galeria tubular ficará na cota 114,36 m. O corpo do tubo DN=1.200mm terá 111,56m e será envolvido em concreto estrutural (envelopamento em 108,82m de extensão).

Para obra a montante da Tomada D'água foi projetada uma caixa de concreto armado nas dimensões 5,80 x 5,80 x 4,00m que além de conter a grade de proteção da tubulação com dimensões 3,0 x 3,0m, em barra de ferro chato de malha #100mm x 500mm, posicionada na entrada da galeria, previu-se um registro de gaveta com flange e volante (DN=1.200mm) montado na tubulação para futuras manutenções nos equipamentos a jusante.

A jusante, para o controle de vazão de saída e a dissipação de energia, foi prevista uma válvula dispersora de 1.200mm de diâmetro, associada a válvula borboleta montada imediatamente a montante, para eventual manutenção da válvula dispersora.

A obra de jusante é composta por infraestrutura formada por duas caixas, sendo a primeira caixa com dimensões 8,70 x 4,70 x 4,85m, que abriga a válvula dispersora e equipamentos e serve de base para superestrutura. A superestrutura, projetada em concreto armado, possui seis pilares com dimensões 0,30 x 0,40 x 5,80m, quatro cintas de 0,25 x 0,50 x 3,46m e uma cinta de 0,25 x 0,50 x 4,14m. No topo dos pilares existem quatro vigas de 0,25 x 0,80 x 3,46m e três vigas de 0,20 x 0,80 x 4,14m. Nestas últimas vigas será montada uma viga metálica de aço carbono, transversal a estas, com perfil em I e referencia W530 x 66,0 e acoplada a viga uma talha com capacidade para 5,0 toneladas que será utilizada para montagem, desmontagem e manutenção dos equipamentos.

Para energização da talha, controle de vazão e acionamento da válvula dispersora, iluminação e tomadas e automação e transmissão de dados, foi projetada a casa de comando com dimensões externas 4,00 x 4,40 x 3,0m.

A jusante da caixa de infraestrutura foi projetada a bacia de dissipação da válvula dispersora, também em concreto armado, com dimensões 11,57 x 5,14m. Após a bacia de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com enrocamento com a finalidade de evitar erosões provocadas pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água.

As escavações obrigatórias para implantação da tomada d'água, previstas no projeto, atingirão a cota 113,28 m que permite a construção das obras, de acordo com as seções transversais projetadas.

O trecho da tomada d'água a jusante do filtro vertical será todo envolvido por areia grossa do tapete drenante. Da mesma forma o dreno de pé no local da tomada d'água será construído envolvendo a galeria.

O arranjo do sistema de descarga d'água, seus elementos constituintes e detalhes dos aspectos das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos são apresentados no **Tomo 2 - Desenhos, Volume I**.

3.4.3 - EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

Descrevemos a seguir os principais equipamentos da Tomada D'Água e no final apresentamos a relação de equipamentos.

3.4.3.1 - Grade Móvel

Foi projetada uma grade móvel, encaixada em guias laterais, apoiada na soleira que será chumbada ao concreto na caixa de montante que é a entrada da galeria. A grade tem as seguintes dimensões externas de 3,16 x 3,0m (L x H), ela foi dividida em três partes para facilitar a entrada na galeria para manutenção e acionamento do registro de montante. Todas as partes serão articuladas ao meio por dobradiças.

As dimensões das barras, bem como a malha adotada deverão ser calculadas em conformidade com a Norma ABNT NBR 11213 e considerar uma carga de entupimento de 30kPA. As guias laterais e soleiras deverão dispor de chumbadores que servirão para posicioná-las e ancorá-las ao concreto da obra.

3.4.3.2 - Registro de Gaveta

O registro de gaveta, DN=1.200mm, terá nas extremidades flanges e será acionamento por volante. Na tomada terá ainda um registro DN=80mm para bloqueio do tubo "suspiro" e um registro para drenagem da tubulação da tomada d'água, DN=150mm. As características gerais para fabricação dos registros de gaveta de ferro fundido dúctil deverão obedecer a norma brasileira NBR 12430 – Válvula Gaveta de Ferro Fundido Nodular.

3.4.3.3 - Tubos

Os tubos serão em aço carbono ASTM A-36 flangeados de DN=1.200mm e fabricados com chapas com espessura de 1/2" e serão nove tubos com comprimento de 6,0m cada. Na tomada d'água estão previstos outros dois tubos flangeados, DN=1.200mm, e com os seguintes comprimentos: 3,60m e 0,23m.

Foi projetado um tubo em aço carbono ASTM A-36, ponta x flange, DN=80mm, e comprimento de 17,40m para expelir o ar (suspiro) da tubulação da tomada d'água e outra tubulação, DN=150mm para drenagem do tubo da galeria.

3.4.3.4 - Válvula Borboleta

A válvula borboleta será em ferro dúctil, DN=1.200mm, foi projetada para ser fornecida na classe PN-10 e terá os respectivos flanges, porcas, parafusos, tirantes e arruelas. As válvulas borboletas por mecanismo de redução.

3.4.3.5 - Válvula Dispersora

A válvula dispersora será de jato cônico, de acionamento mecânico, DN=1.200mm, PN 10, com câmaras envolventes. A válvulas dispersora tipo Howell-Bunger, deverão ser instaladas com a finalidade de perenizar o riacho Caiçara à jusante da barragem, com uma vazão regularizada de 0,655 m³/s ou 655 l/s (com 90% de garantia).

A válvula dispersora deverá vir acompanhada de Central Oleodinâmica e Painel de Controle digital permitindo a leitura da vazão demandada em função da abertura da válvula.

Para o atendimento das vazões regularizadas de projeto, a tomada d'água da barragem será operada entre as cotas 131,00 m e 116,00 m, que correspondem, respectivamente, à capacidade máxima de acumulação do reservatório (82,177 hm³) e ao seu volume morto (2,849 hm³).

A estrutura da tomada d'água da barragem Frecheirinha foi concebida também com a finalidade de promover o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial no tempo médio aproximado de 133 dias (cerca de 04 meses).

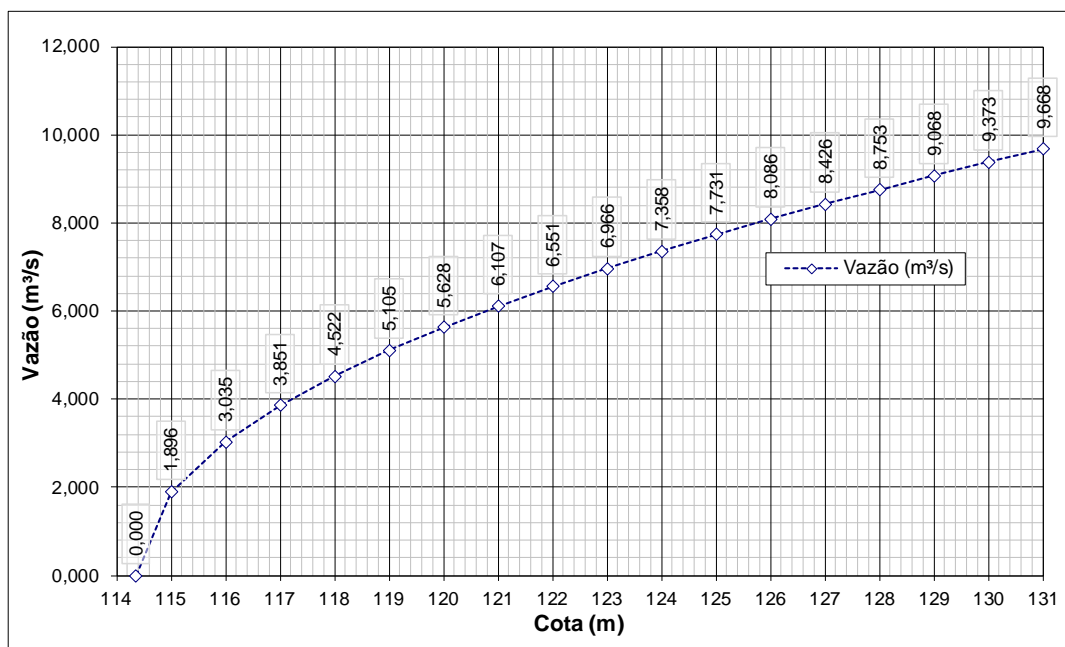
A válvula dispersora deverá trabalhar no esvaziamento emergencial, com a cota do reservatório variando entre o nível do sangradouro (cota 131,00 m) e a cota

do eixo da tomada d'água (cota 114,36 m). Apresentamos a seguir o **Quadro 3.1** mostrando a velocidade e vazões em função das cotas do reservatório e o gráfico: cota x vazão na **Figura 3.5**.

Quadro 3.1 - Curva-Chave da Tomada D'Água

Cota (m)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)
114,36	0,000	0,00	123,00	6,966	6,16
115,00	1,896	1,68	124,00	7,358	6,51
116,00	3,035	2,68	125,00	7,731	6,84
117,00	3,851	3,40	126,00	8,086	7,15
118,00	4,522	4,00	127,00	8,426	7,45
119,00	5,105	4,51	128,00	8,753	7,74
120,00	5,628	4,98	129,00	9,068	8,02
121,00	6,107	5,40	130,00	9,373	8,29
122,00	6,551	5,79	131,00	9,668	8,55

Figura 3.5 - Gráfico Cota x Vazão da Tomada D'água



O quadro e a figura mostram que a válvula dispersora terá um ranger de vazão de 0 a 10m³/s e deverá suportar velocidades de até 9,0m/s, aproximadamente.

3.4.3.6 - Relação dos Equipamentos

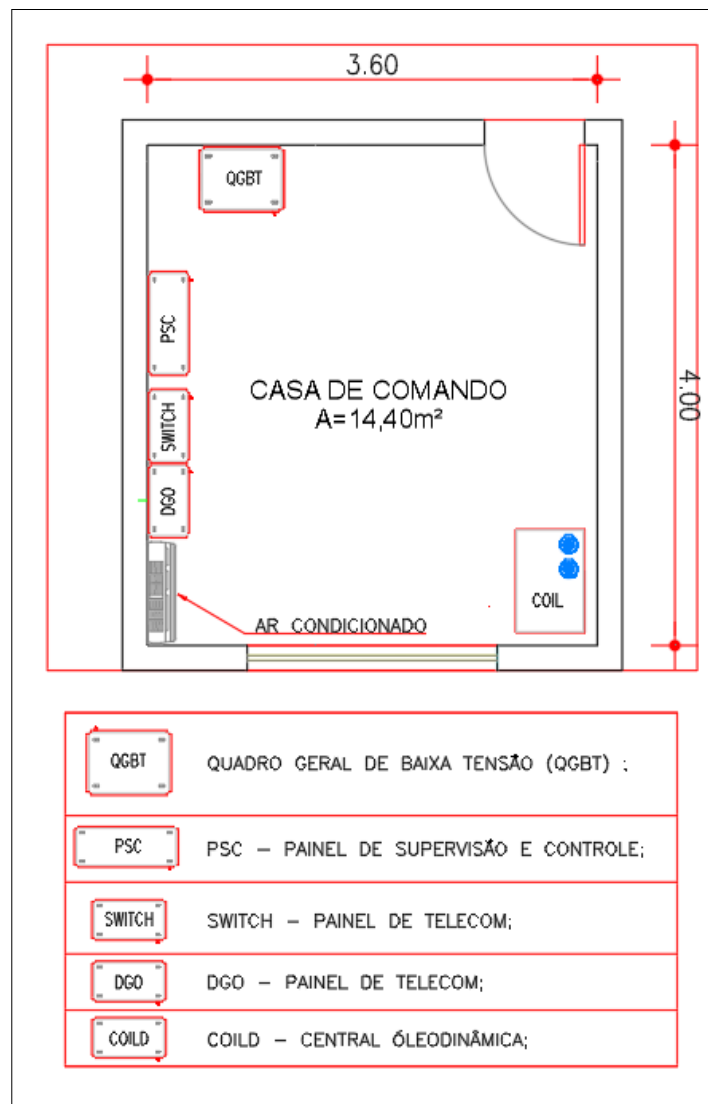
ITEM	MAT	PN	DN	DESCRIÇÃO	COMP. (mm)	QUANT.
1	FoFo	10	1200	Registro Gaveta c/ Flange c/ Volante	-	1
2	Aço	10	80	Tubo de Aço Carbono com Flanges	6000	3
3	FoFo	10	80	Registro Gaveta c/ Flange c/ Volante - PN 10	-	1
4	Aço	10	1200	Tubo de Aço Carbono com Flanges	12000	9
5	Aço	10	1200	Tubo de Aço Carbono com Flanges	3600	1
6	FoFo	10	1200	Válvula Borboleta c/ Flanges Série AWWA - PN 10	620	1
7	Aço	10	1200	Junta de Expansão Tipo Dresser-38	350	1
8	Aço	10	1200	Tubo de Aço Carbono com Flanges	230	1
9	Aço	10	1200	Válvula Dispersora	-	1
10	Aço	10	600	Tubo de Aço Carbono Ponta - Flange	860	1
11	Aço	10	600	Tampão de Aço Carbono com Flange	-	1
12	Aço	10	150	Tubo de Aço Carbono Ponta - Flange	70	1
13	Fo-Fo	10	150	Curva Flangeado 90°	-	2
14	Aço	10	150	Tubo de Aço Carbono com Flanges	80	1
15	FoFo	10	150	Registro Gaveta c/ Flange c/ Volante	-	1
16	Aço	-	-	Viga de Aço Carbono com Perfil em I - W 530 x 66,0	11000	1
17	Aço	-	-	Talha de Aço Carbono para Carga de até 5 Ton	-	1
18	Aço	-	-	Grade Fabricada com Perfis de Aço Dimensões 1,50 x 3,00m	-	2
19	Aço	-	-	Grade Fabricada com Perfis de Aço Dimensões 2,08 x 3,33m	-	1
20	Aço	-	-	Grade Fabricada com Perfis de Aço Dimensões 1,82 x 3,33m	-	1

3.4.4 - CASA DE COMANDO

A casa de comando da válvula dispersora está localizada vizinha a superestrutura da obra que abriga a válvula dispersora e tem as seguintes dimensões internas 4,00 x 3,60 x 2,70m de pé direito.

A **Figura 3.2** mostra o layout do ambiente da Casa de comando que possui 14,40 m² de área e abriga os equipamentos necessários ao funcionamento da válvula dispersora e talha de manobra para montagem e desmontagem de equipamentos.

Figura 3.2 – Casa de Comando e Layout dos Equipamentos



3.4.5 - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Apresentamos a seguir o Projeto Elétrico da Casa de Comando e Sala de Manobras da obra de jusante da Tomada D'água.

3.4.5.1 - Normas e Especificações

Todas as instalações foram projetadas e deverão ser executadas em estrita concordância com as Normas Técnicas:

- NBR-5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão
- NBR-14039 – Instalações Elétricas em Média Tensão
- NBR-5419 – Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas
- NBR 5471 - Condutores Elétricos
- NBR 6854 - Aparelhos de iluminação para interiores
- CNC-OMBR-MAT-18-0125 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição – ENEL.

Alertamos que quaisquer alterações feitas no Projeto feitas na execução das Obras, sem prévio aviso e consentimento dos autores e/ou co-autores do presente, isentar-se-ão os mesmos das responsabilidades legais e técnicas do referido empreendimento.

3.4.5.2 - Descrições das Instalações

A Casa de Comando e a Sala de Manobras ficam localizadas na obra de jusante da Tomada D'água da Barragem Frecheirinha, que será responsável por perenizar o riacho Caiçara e rio Coreaú a jusante da Barragem Frecheirinha garantindo água para população ribeirinha e agricultura irrigada a jusante.

O acionamento, controle e supervisão da válvula dispersora serão feitos do interior da Casa de Comando, que será dotada dos sistemas elétricos e eletrônicos necessários para esse fim.

A obra civil corresponde a uma casa de dimensões internas 4,00m x 3,60m (Casa de Comando) e 7,70 x 4,15 (Área de Manobras), com forro em laje de concreto e cobertura em telha de fibrocimento ou similar. Os desenhos da obra civil estão apresentados nos documentos:

- 34 - PLANTA PERFIL E DETALHES DA TOMADA D'ÁGUA;
- 35 - CAIXAS DE MONTANTE E DE JUSANTE DA TOMADA D'ÁGUA – PLANTAS, CORTES E DETALHES;
- 36 – CAIXA DE MONTANTE E ENVELOPAMENTO DO TUBO DA TOMADA D'ÁGUA – ARMADURAS – PLANTAS E CORTES;

- 37 - CAIXA DE DISSIPACÃO DA TOMADA D'ÁGUA – FORMAS - PLANTAS;
- 38 - CAIXA DE DISSIPACÃO DA TOMADA D'ÁGUA – FORMAS - CORTES;
- 39 - CAIXA DE DISSIPACÃO DA TOMADA D'ÁGUA – SUPERESTRUTURA – ARMADURAS – PLANTAS E CORTES;
- 40 - CAIXA DE DISSIPACÃO DA TOMADA D'ÁGUA – INFRAESTRUTURA – ARMADURAS - PLANTA E CORTES – PRANCHA 1/2;
- 41 - CAIXA DE DISSIPACÃO DA TOMADA D'ÁGUA – INFRAESTRUTURA – ARMADURAS - PLANTA E CORTES – PRANCHA 2/2.

No interior da Casa de Controle será instalado um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) que irá alimentar as cargas descritas abaixo:

- Circuito 1 Casa de Comando - Iluminação Interna
- Circuito 2 Casa de Comando - Tomadas - TUG's
- Circuito 3 Casa de Comando - Iluminação Externa
- Circuito 4 Casa de Comando - Split 18.000 BTU'S
- Circuito 5 Casa de Comando -Painel Telecom-DGO
- Circuito 6 Casa de Comando - Painel Telecom-Switch
- Circuito 7 Casa de Comando - Painel Suporte e Controle
- Circuito 8 Casa de Comando -Central Óleo-Hidráulica-15cv
- Circuito 9 Sala de Manobras - Monovia
- Circuito 10 Sala de Manobras - Iluminação Interna/Externa
- Circuito 11 Sala de Manobras - Tomadas - TUG's
- Circuito 12 Reserva

O projeto elétrico da Casa de Comando, contempla o projeto da subestação em Média Tensão, as Instalações Elétricas Prediais, bem como os sistemas de aterramento e de proteção (SPDA ou MPS).

A alimentação da subestação será feita a partir de rede elétrica disponível na cidade de Frecheirinha, e o projeto desta rede não faz parte do escopo deste trabalho.

3.4.5.3 - Descrição da Subestação de Energia Elétrica

A Subestação de Energia Elétrica da Casa de Comando e Sala de Manobras da Barragem Frecheirinha - terá Capacidade Instalada de 45kVA e será do tipo aérea. O ponto de entrega da concessionária será aéreo, conforme padrão CNC-OMBR-MAT-18-0125 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição – ENEL.

A medição ENEL será em média tensão (13,8 kV). Junto com as chaves fusíveis serão instalados três pára-raios do tipo distribuição, a resistor não linear, com desligador automático, tensão nominal de 12kV, corrente de descarga nominal de 10kA, máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico de 110kV, máxima tensão residual de descarga de 64kV e máxima tensão disruptiva à frequência industrial de 22.5kV

Do ponto de entrega da concessionária segue de forma aérea (e na mesma estrutura) até o transformador. Entre o ponto de entrega e o transformador serão instalados três para-raios do tipo distribuição, a resistor não linear, com desligador automático, tensão nominal de 12kV, corrente de descarga nominal de 10kA, máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico de 110kV, máxima tensão residual de descarga de 64kV e máxima tensão disruptiva à frequência industrial de 22,5kV e conjunto de três chaves fusíveis indicadoras unipolares, corrente nominal 300A, tensão nominal 25 kV, NBI-110kV – 6,3kA, Elo Fusível 3H.

O transformador será à óleo, com potência nominal de 45kVA, instalação aérea, tensão nominal primária de 13.800V, fechamento em delta, tensão nominal secundária em baixa tensão 380Vff/220Vfn, fechamento em estrela aterrado, impedância nominal percentual de 3.5% na tensão 13.800V para 45kVA, com derivações 13.800 / 13.200 / 12.600 / 12.000 / 11.400V, nível de isolamento 25kV – NBI 110kV, buchas de 25kV, frequência 60Hz, conforme norma ABNT-NBR 05356.

Na saída do secundário do Transformador serão instalados TCs e TPs para a medição de faturamento da Concessionária. Após os TCs será instalada a Proteção Geral de Baixa Tensão, através de Disjuntor Termomagnético Tripolar, corrente

nominal de 75A, corrente mínima de interrupção de 10kA em 380V, acionamento frontal, frequência nominal de 60Hz e tensão nominal 380V.

Os cabos de cobre na saída do secundário serão isolados em XLPE 90°C a temperatura ambiente de 30°C, com a seguinte especificação: 3F+N 25mm² - 0,6/1KV.

3.4.5.4 - Medição da Concessionária

A medição da Companhia Energética será em Média Tensão (13,8kV) será instalada no poste e antes do transformador da unidade consumidora.

3.4.5.5 - Proteção Elétrica e Seccionamento em Média Tensão

A proteção será feita através de um conjunto de chaves fusíveis indicadoras unipolares, corrente nominal 300A, tensão nominal 25 kV, NBI-110kV – 6,3kA, Elo Fusível 5H.

3.4.5.6 - Proteção Elétrica Geral de Baixa Tensão

Na saída do secundário de cada Transformador será instalada a Proteção Geral de Baixa Tensão, através de Disjuntor Termomagnético Tripolar, abertos, corrente nominal de 75A, corrente mínima de interrupção de 10kA em 380V, faixa de ajuste do relé térmico acionamento frontal, frequência nominal de 60Hz e tensão nominal 380V.

3.4.5.7 - Proteção Elétrica

A proteção geral será feita através de um conjunto de chaves fusíveis indicadoras unipolares, corrente nominal 300A, tensão nominal 25 kV, NBI-110kV – 6,3kA, Elo Fusível 5H.

A proteção geral de Baixa Tensão, será feita através de Disjuntor Tripolar Termomagnético, corrente nominal de 75A corrente mínima de interrupção de 10kA em 380V, acionamento frontal, frequência nominal de 60Hz e tensão nominal 380V.

3.4.5.8 - Aterramento e SPDA

Para o aterramento da Subestação será utilizado cabo de cobre nú de 50 mm² para interligação entre as hastes de aterramento. Neste condutor serão ligados o neutro do Transformador, as carcaças dos equipamentos, bem como todas as partes metálicas da subestação, conforme descrito no documento 1260-DES-4102-60-08-002.

Para o aterramento da Casa de Controle serão instaladas hastes de terra em aço cobreado, medindo 5/8" x 3.000 mm, distribuídas em disposição retangular, com distância entre os eletrodos verticais de no mínimo de 3 m, e deverá apresentar resistência de malha de terra máxima de 10 ohms durante todo o ano. Todas as ligações serão executadas através de solda exotérmica apropriada. A malha de aterramento da Subestação e da Casa de Controle serão a mesma, configurando uma malha única, conforme descrito no documento 1260-DES-4102-60-08-002. A malha de aterramento deverá ser conectada ao barramento de terra do QGBT (BEP) por meio de cabo de cobre de 25 mm², onde os demais quadros também devem ser conectados.

Todas as partes metálicas (portas, janelas, quadros, grades, etc) não destinadas a condução de energia deverão ser solidamente aterradas com cabo de cobre nu 25 mm².

Os condutores para aterramento deverão ser curtos e retilíneos quanto possível, sem emendas e não conter chaves ou quaisquer dispositivos que possam causar sua interrupção, devidamente protegidos por eletrodutos rígido nos trechos em que possa sofrer danificações mecânicas. O condutor terra que sai do barramento do quadro para interligar com os equipamentos, deverá ser na cor verde ou mesclado verde-amarelo.

3.4.5.9 - Cálculo da Potência Demandada

A Potência Demandada calculada foi de 35,99 kVA portanto foi dimensionado um transformador de 45 kVA, tendo ainda uma reserva de 20,02%.

3.4.5.10 - Quadro de Cargas

Apresentamos a seguir o Quadro de Cargas da Casa de Comando e Sala de Manobras.

Quadro 3.2 – Quadro de Cargas

CIRCUITO	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA (W)				CORRENTE (A)					CABOS (mm²)	DISJUNTOR (mm²)
		TOTAL	FASES			FASES			FATOR POTÊNCIA	TOTAL		
			A	B	C	A	B	C				
1	ILUMINAÇÃO INTERNA	192	192			0,92			0,95	0,92	1F#2,5+1N#2,5+1T#2,5	1X10
2	TOMADAS - TUG'S	755		755			4,04		0,85	4,04	1F#2,5+1N#2,5+1T#2,5	1X10
3	ILUMINAÇÃO EXTERNA	300			300			1,44	0,95	1,44	1F#2,5+1N#2,5+1T#2,5	1X10
4	SPLIT 18.000 BTU'S	1.628	1.628			8,31			0,89	8,31	1F#4+1N#4+1T#4	1X16
5	PAINEL TELECOM-DGO	6.000	2.000	2.000	2.000	9,30	9,30	9,30	0,98	9,30	3F#4+1N#4+1T#4	3X16
6	PAINEL TELECOM-SWITCH	6.000	2.000	2.000	2.000	9,30	9,30	9,30	0,98	9,30	3F#4+1N#4+1T#4	3X16
7	PAINEL SUPORTE E CONTROLE	6.000	2.000	2.000	2.000	9,30	9,30	9,30	0,98	9,30	3F#4+1N#4+1T#4	3X16
8	CENTRAL ÓLEO-HIDRÁULICA-15cv	11.040	3.680	3.680	3.680	18,64	18,64	18,64	0,83	18,64	3F#6+1N#6+1T#6	3X25
9	MONOVIA	7.500	2.500	2.500	2.500	14,24	14,24	14,24	0,80	14,24	3F#4+1N#4+1T#4	3X16
10	ILUMINAÇÃO INTERNA/EXTERNA	500			500			2,39	0,95	2,39	1F#2,5+1N#2,5+1T#2,5	1X10
11	TOMADAS - TUG'S	500		500			2,67		0,85	2,67	1F#2,5+1N#2,5+1T#2,5	1X10
12	RESERVA	0							0,95	0,00		1X16
CARGA INSTALADA (W)		40.415	14.000	13.435	12.980	70,02	67,50	64,61		80,56		3X75

3.4.5.11 - Considerações Gerais

Todas as Instalações Elétricas deverão ser executadas com cuidado e bom acabamento, com todos os condutores, eletrodutos e equipamentos, cuidadosamente arrumados e firmemente ligados às estruturas de suporte. Os materiais necessários para execução da obra deverão ser novos, de bom acabamento e fabricação recente.

Após o término das instalações, deverão ser executados os arremates e pintura necessários, visando restabelecer o aspecto estético dos acabamentos, obedecendo rigorosamente à distribuição de fase conforme consta no projeto elétrico.

A Subestação deverá ser operada e mantida por equipe técnica qualificada e treinada pelos fabricantes dos equipamentos e dispositivos dos sistemas.

3.4.5.12 - Lista de Materiais

SUBESTAÇÃO AÉREA	UNID.	QUANT.
POSTE DE CONCRETO ARMADO 600/12 C/ MONTEGEM	UN	1
CRUZETA DE CONCRETO TIPO NORMAL	UN	3
PARA-RAIOS POLIMÉRICO 12 KV OXIDO DE ZINCO	UN	3
CHAVE FUSIVEL 25 KV 300 A	UN	3
TRANSFORMADOR À ÓLEO DE 45KVA, 13,8KV/0,38KV, USO EM POSTE	UN	1
ISOLADOR TIPO DISCO 175MM DE VIDRO	UN	9
DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO 75A-10kA	UN	1
ALÇA PREFORMADA PARA CABO DE ALUMÍNIO CAA 4AWG	UN	3
TERMINAL DE PRESSÃO PARA CABOS ATÉ 25MM ²	UN	3
CABO DE COBRE UNIPOLAR 25MM ² , BLINDADO, ISOLACAO 6/10 KV EPR, COBERTURA EM PVC	MT	48
CABO DE COBRE NÚ 25 MM ²	MT	25
CABO DE ALUMINIO SIMPLES, TIPO CAA, BITOLA 4 AWG	MT	15
BUCHA DE ARRUELA DE AÇO GALVANIZADO D=80MM(3") INCLUINDO MONTAGEM	PAR	1
CURVA PARA ELETRODUTO PVC ROSCADO D=85MM(3") INCLUINDO MONTAGEM	UN	1
ELETRODUTO PVC ROSCADO INCLUINDO MONTAGEM E CONEXÕES D=85MM (3") E MONTAGEM	MT	20
HASTE DE TERRA 5/8" x 3,00m GCW 19L30, INCLUINDO MONTAGEM	UN	6
SOLDA EXOTÉRMICA	UN	8
CAIXA EM ALVENARIA (80X80X60cm) DE 1/2 TIJOLO COMUM, LASTRO DE CONCRETO E TAMPA DE CONCRETO	UN	1

MALHA DE ATERRAMENTO	UNID.	QUANT.
MOLDE PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA DE CABOS HORIZONTAL. CABO PASSANTE 50mm ² E DERIVAÇÃO 25mm ²	PÇ	1
MOLDE PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA DE CABO PASSANTE SOBREPOSTO COM CABO DE DERIVAÇÃO. CABO PASSANTE 50mm ² E DERIVAÇÃO 25mm ²	PÇ	1
MOLDE PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA DE CABO PASSANTE A LATERAL DA HASTE DE ATERRAMENTO, CABO 25mm ² E HASTE Ø 3/4"	PÇ	1
MOLDE PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA DE CABO AO TOPO DA HASTE DE ATERRAMENTO, CABO 25mm ² E HASTE Ø 3/4"	PÇ	1
PÓ DE SOLDA PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA, EM CARTUCHO, TAMANHO 90	PÇ	4
PÓ DE SOLDA PARA CONEXÃO EXOTÉRMICA, EM CARTUCHO, TAMANHO 115	PÇ	2
HASTE DE ATERRAMENTO FABRICADA COM NÚCLEO EM AÇO SAE 1010/20, REVESTIDO COM ESPESSA CAMADA DE COBRE ELETROLÍTICO POR PROCESSO DE ELETRODEPOSIÇÃO, Ø 3/4" mm ² E COMPRIMENTO 3000 mm.	PÇ	6
CAIXA DE INSPEÇÃO EM PVC Ø300X600MM FORNECIDO COM TAMPA	PÇ	2
CONECTOR BIMETÁLICO COM RABICHO PARA FIXAÇÃO DE UM CABO TERRA SIMPLE EM BRONZE, DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA E À CORROSÃO, PARA CABOS 25 – 70mm ²	PÇ	2
TERMINAL A COMPRESSÃO, 1 FURO E 1 COMPRESÃO, FABRICADO EM COBRE ELETROLÍTICO, ACABAMENTO ESTANHADO, PARA CONDUTORES DE COBRE	PÇ	12
ACENDEDOR TIPO IGNEX PARA SOLDA EXOTÉRMICA, FORNECIDO EM CAIXA COM 20 PALITOS.	PÇ	2
ALICATE PARA MOLDE DE SOLDA EXOTÉRMICA DOS GRUPOS "3,5,8 E 9, DO TIPO Z-201	PÇ	1
CONECTOR PARAFUSO FENDIDO SPLIT BOLT FUNDIDO EM BRONZE PARA CABOS 16-50 mm ²	PÇ	10
PRESILHA DE LATÃO COM FURO Ø5MM, PARA FIXAÇÃO DE CABO DE COBRE NU 10 A 25mm ²	PÇ	12
SUPORTE-GUIA GALVANIZADO A FOGO H=30Cm	PÇ	4
ARRUELA LISA AÇO INOX Ø1/4"	PÇ	12
PARAFUSO SEXTAVADO AÇO INOX ROSCA SOBERBA M6 x 45MM	PÇ	12
TERMINAL AÉREO EM AÇO GALVANIZADO A FOGO H=300mm x Ø3/8" COM FIXAÇÃO HORIZONTAL	PÇ	4
PORCA SEXTAVADA Ø 5/16", FABRICADA EM AÇO GALVANIZADO À FOGO, ROSCA "WW" CONFORME ABNT	PÇ	12
BUCHA DE NYLON Nº8	PÇ	12

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	UNID.	QUANT.
QUADRO GERAL DE BAIXA DE BAIXA TENSÃO - Q.G.B.T. C/ACESSÓRIO (QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO GERAL BAIXA TENSÃO, C/ACESSÓRIOS - 1UN DE MEDIÇÃO)	UN	1
ELETRODUTO PVC ROSC. D= 25mm (3/4")	M	36
ELETRODUTO PVC ROSC. D= 32mm (1")	M	12
ELETRODUTO PVC ROSC. D= 40mm (1 1/4")	M	9
ELETRODUTO PVC ROSC. D= 50mm (1 1/2")	M	9
LUVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 25mm (3/4")	UN	6
LUVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 32mm (1")	UN	3
LUVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 40mm (1 1/4")	UN	3
LUVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 50mm (1 1/2")	UN	3
CURVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 25mm (3/4")	UN	4
CURVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 32mm (1")	UN	3
CURVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 40mm (1 1/4")	UN	3
CURVA P/ELETRODUTO PVC ROSC. D= 50mm (1 1/2")	UN	2
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO B, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 20 MM (3/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	3
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO C, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 20 MM (3/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	1
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO E, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 20 MM (3/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	7
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO LR, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 20 MM (3/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	7
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO LR, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 25 MM (1"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	2
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO T, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 20 MM (3/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	7
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO T, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 25 MM (1"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	6
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO T, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 32 MM (1 1/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	1
CONDULETE DE ALUMÍNIO, TIPO X, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO DN 32 MM (1 1/4"), APARENTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_11/2016_P	UN	1

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	UNID.	QUANT.
TOMADA MÉDIA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 20 A, INCLUINDO SUPORTE E PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	4
TOMADA BAIXA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 10 A, INCLUINDO SUPORTE E PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	2
TOMADA ALTA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 10 A, INCLUINDO SUPORTE E PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	1
TOMADA ALTA DE EMBUTIR (1 MÓDULO), 2P+T 20 A, INCLUINDO SUPORTE E PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	1
INTERRUPTOR PARALELO (2 MÓDULOS) COM INTERRUPTOR PARALELO (1 MÓDULO), 10A/250V, SEM SUPORTE E SEM PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	1
INTERRUPTOR PARALELO (3 MÓDULOS), 10A/250V, INCLUINDO SUPORTE E PLACA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	UN	2
CABO DE COBRE FLEXÍVEL ISOLADO, 2,5 MM ² , ANTI-CHAMA 0,6/1,0 KV, PARA CIRCUITOS TERMINAIS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	M	300
CABO DE COBRE FLEXÍVEL ISOLADO, 4 MM ² , ANTI-CHAMA 0,6/1,0 KV, PARA CIRCUITOS TERMINAIS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	M	175
CABO DE COBRE FLEXÍVEL ISOLADO, 6 MM ² , ANTI-CHAMA 0,6/1,0 KV, PARA CIRCUITOS TERMINAIS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015	M	48
LUMINÁRIA DE SOBREPOR PARA 2 LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES DE 32W. CORPO EMPOLIÉSTER REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO NA COR CINZA E REFLETOR EM CHAPA DE AÇO TRATADA COM ACABAMENTO EM PINTURA ELETROSTÁTICA ÉPOXI- PÓ NA COR BRANCA. DIFUSOR EM POLIESTIRENO TEXTURIZADO E VEDAÇÃO EM POLIURETANO CONTÍNUO E GRAU DE PROTEÇÃO IP-65. FORNECIDA MONTADA COM EQUIPAMENTO DE PARTIDA TIPO ELETRÔNICO 220V-60Hz E 2 LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS DE 32W DUPLAS, 4 PINOS, REF.: ITAIM OU SIMILAR.	UN	3
BLOCO AUTÔNOMO PARA LUZ DE EMERGÊNCIA EQUIPADO COM 02(DOIS) PROJETORES COM LÂMPADAS HALÓGENAS DE 55W, AUTÔNOMIA DE 04(HORAS). REF.: BPF DA UNITRON OU SIMILAR.	UN	1
LUMINÁRIA PENDENTE EM LED, FACHO DE LUZ FECHADO (<60°), CORPO EM ALUMÍNIO E REFLETOR EM ALUMÍNIO ANODIZADO DE ALTO BRILHO, POTENCIA MÍNIMA 90W E MÁXIMA 100W - COMPLETA	UN	8

3.5 - INTERFERÊNCIAS COM INFRAESTRUTURAS EXISTENTES

As interferências com infraestruturas existentes, no Projeto, especificamente na Bacia Hidráulica da Barragem Frecheirinha, são as duas redes de transmissão de energia elétrica da CHESF – LT 500KV que liga a Hidrelétrica de Tucuruí ao Ceará, no Trecho: Teresina/PI a Sobral/CE. As características topográficas do traçado foram identificadas e cadastradas para avaliar se as fundações das bases destas torres situam-se em cotas inferiores aos níveis operacionais do reservatório.

Diante da análise das cotas das bases e os níveis operacionais (cheia milenar e decamilenar), verificou-se que nenhuma torre será atingida. O **desenho 02 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I**, mostra a bacia hidráulica e localização das torres da CHESF.

Na área da bacia hidráulica foram identificadas edificações e propriedades que são apresentadas nos relatórios de Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento da barragem

Também foram identificadas estradas vicinais locais que ficarão submersas pelo reservatório. No **Tomo 2 - Desenhos, Volume I**, são apresentados os projetos executivos das estradas de contorno e acesso ao reservatório, inclusive as respectivas obras de arte correntes para travessia de talvegues.

3.6 - PLANILHA DE QUANTITATIVOS

No **Tomo 5 - Quantitativos e Orçamento, Volume I**, são apresentados os quantitativos e orçamento do projeto.

3.7 - DESENHOS

Os desenhos do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha são apresentados no relatório **Tomo 2 - Desenhos, Volume I**.

Os desenhos que compõem o Projeto Executivo da barragem Frecheirinha são relacionados a seguir:

<i>DESENHO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>Nº DE FOLHAS</i>	<i>FORMATO</i>	<i>REVISÃO</i>	<i>OBS.</i>
01	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO	1	A1	1	
02	BACIA HIDRAÚLICA	1	A1	1	

DESENHO	DESCRIÇÃO	Nº DE FOLHAS	FORMATO	REVISÃO	OBS.
03 e 04	ESTUDO TOPOGRÁFICO E LOCAÇÃO DOS EIXOS DAS OBRAS	2	A1	1	
05	ARRANJO GERAL DAS OBRAS	1	A1	1	
06	LAYOUT GERAL DA BARRAGEM E VERTEDOURO E LOCAÇÃO DAS SONDAGENS	1	A1	1	
07 e 08	PLANTA E PERFIL GEOTÉCNICO E GEOLÓGICO DA BARRAGEM E VERTEDOURO	2	A1	1	
09 e 10	PLANTA E PERFIL DO EIXO BARRAGEM E VERTEDOURO	2	A1	1	
11	SEÇÃO TIPO E DETALHES DA BARRAGEM	1	A1	1	
12 a 21	SEÇÕES TRANSVERSAIS DA BARRAGEM	10	A1	1	
22	PLANTA E PERFIL DOS DIQUES	1	A1	1	
23	LOCALIZAÇÃO E ACESSO DAS OCORRÊNCIAS	1	A1	1	
24	PLANTA E PERFIL DO VERTEDOURO	1	A1	1	
25	DETALHES VERTEDOURO	1	A1	1	
26 a 28	SEÇÕES TRANSVERSAIS DO VERTEDOURO	3	A1	1	
29	DETALHES DOS CHUMBADORES E JUNTAS DAS LAJE DO VERTEDOURO	1	A1	1	
30	PLANTA DE DRENAGEM DO VERTEDOURO	1	A1	1	
31	PLANTA E PERFIL TOMADA D'ÁGUA	1	A1	1	
32 a 33	SEÇÕES TRAVERSAIS TOMADA D'ÁGUA	2	A1	1	
34 e 41	DETALHES TOMADA D'ÁGUA	8	A1	1	
42	INSTRUMENTAÇÃO	1	A1	1	
43	PLANTA GERAL DRENAGEM BARRAGEM	1	A1	1	
44	DETALHES DRENAGEM SUPERFICIAL DA BARRAGEM	1	A1	1	
45	FUROS DE INJEÇÃO - LOCAÇÃO	1	A1	1	
46	FUROS DE INJEÇÃO - SEÇÃO E DETALHES	1	A1	1	
47	ACESSO BARRAGEM	1	A1	1	
48	ESTRADA DE CONTORNO BACIA HIDRAÚLICA	1	A1	1	
49 A 57	CANTEIRO DE OBRAS	9	A1	1	
58	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - GERAL - VISTAS - PLANTA	1	A1	1	
59	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 1A - VISTAS - CORTES - PLANTA	1	A1	1	

DESENHO	DESCRIÇÃO	Nº DE FOLHAS	FORMATO	REVISÃO	OBS.
60	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 2A - VISTAS - CORTES - PLANTA	1	A1	1	
61	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHOS 3A_3B - VISTAS - CORTES - PLANTAS	1	A1	1	
62	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHOS 3C_3D - VISTAS - CORTES - PLANTAS	1	A1	1	
63	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHOS 3E_4A - VISTAS - CORTES - PLANTAS	1	A1	1	
64	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 4A - VISTAS - CORTES - PLANTA	1	A1	1	
65	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - CREAGER - CORTES - DETALHES - PLANTA	1	A1	1	
66	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - CREAGER_TRECHO 01 - ARMADURAS	1	A1	1	
67	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 01 - ARMADURAS	1	A1	1	
68	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 02 - ARMADURAS	1	A1	1	
69	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 02 - ARMADURAS	1	A1	1	
70	PROJETO ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHOS 03_04 - ARMADURAS	1	A1	1	
71	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - TRECHO 05 - ARMADURAS	1	A1	1	
72	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - LAJE DE CHEGADA - ARMADURAS	1	A1	1	
73	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - LAJE 01- CANAL RÁPIDO - ARMADURAS	1	A1	1	
74	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - LAJE 02- CANAL RÁPIDO - ARMADURAS	1	A1	1	
75	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - LAJE 03- CANAL RÁPIDO - ARMADURAS	1	A1	1	
76	ESTRUTURAL DO VERTEDOURO - LAJE 04- CANAL RÁPIDO - ARMADURAS	1	A1	1	
77	PROJETO ELÉTRICO - PLANTA BAIXA E CORTES CASA DE COMANDO	1	A1	0	
78	PROJETO ELÉTRICO - ATERRAMENTO E SPDA	1	A1	0	
79	PROJETO ELÉTRICO - ENTRADA QUADROS ILUMINAÇÃO ETC	1	A1	0	
80	PROJETO ELÉTRICO - CORTES E DETALHES	1	A1	0	
81	PROJETO ELÉTRICO - DIAGRAMA UNIFILAR E QUADRO DE CARGAS	1	A1	0	

4 – CANTEIRO DE OBRAS

4 - CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obra está localizada a cerca de 100 m a jusante do eixo barrável, no lado esquerdo do Rio Caiçara, em área lindeira à estrada vicinal de ligação à sede do município. O local encontra-se fora da área do futuro reservatório e de sua respectiva faixa de preservação ambiental, nas imediações da localidade de Caiçara de Cima, no município de Frecheirinha, distando cerca de 4,2 km da sede deste município.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente de revestimento primário e leito natural, com partida através da cidade de Frecheirinha.

O local previsto para a Central de Concreto situa-se na margem direita do rio, a direita do canal de restituição do sangradouro.

Com a previsão da instalação da central de britagem junto a Pedreira P-01, a instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos:

1	Escritório da Administração
2	Escritório da Fiscalização e Supervisão
3	Laboratório de solo e concreto
4	Depósito de cimento
5	Central de concreto
6	Posto de Abastecimento, Lavagem e Lubrificação
7	Oficina Mecânica
8	Almoxarifado
9	Central de Carpintaria
10	Central de Armação
11	Refeitório
12	Portaria
13	Ambulatório
14	Alojamentos
15	Casa de visita p/ Engenheiros
16	Sanitários e Vestiários

Nos **desenhos 49 a 57 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I**, são apresentadas as instalações do canteiro de obras.

5 – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

5 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Previu-se, de acordo com as dimensões das obras da Barragem Frecheirinha e com as características climáticas da Região, um prazo de 24 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a sequência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

Na Figura 5.1 apresenta-se o Cronograma Físico baseado nas etapas construtivas concebidas no projeto.

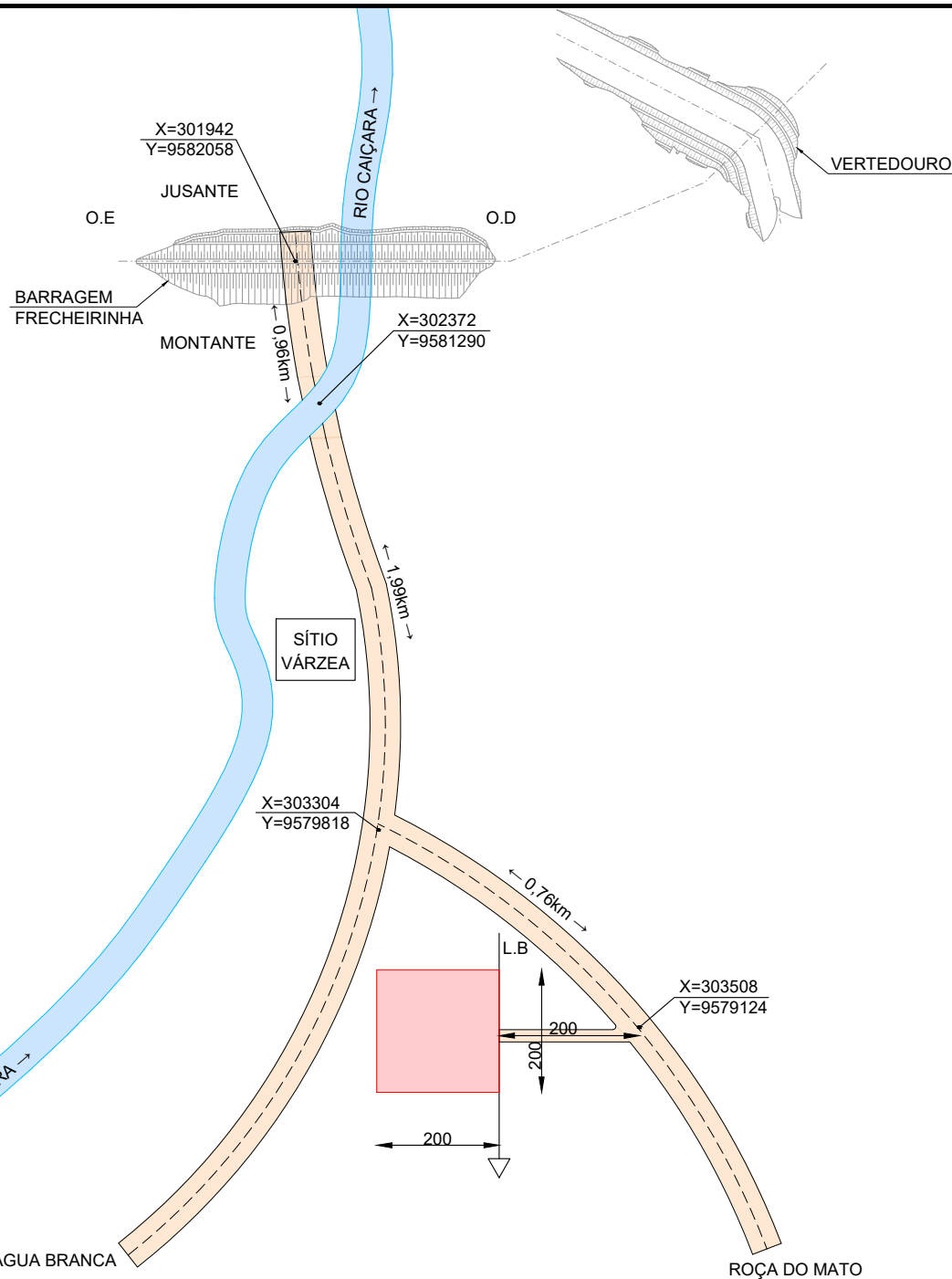


ANEXO

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66

ANEXO 1 – CROQUI DAS JAZIDAS DE MATERIAIS



OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 40.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,81m
 VOLUME: 32.400,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 3,71km
 VEGETAÇÃO : MATA CAPOEIRA
 PROPRIETÁRIO:
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100x100

LOCAL: VÁRZEA
 LADO: MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018
 Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

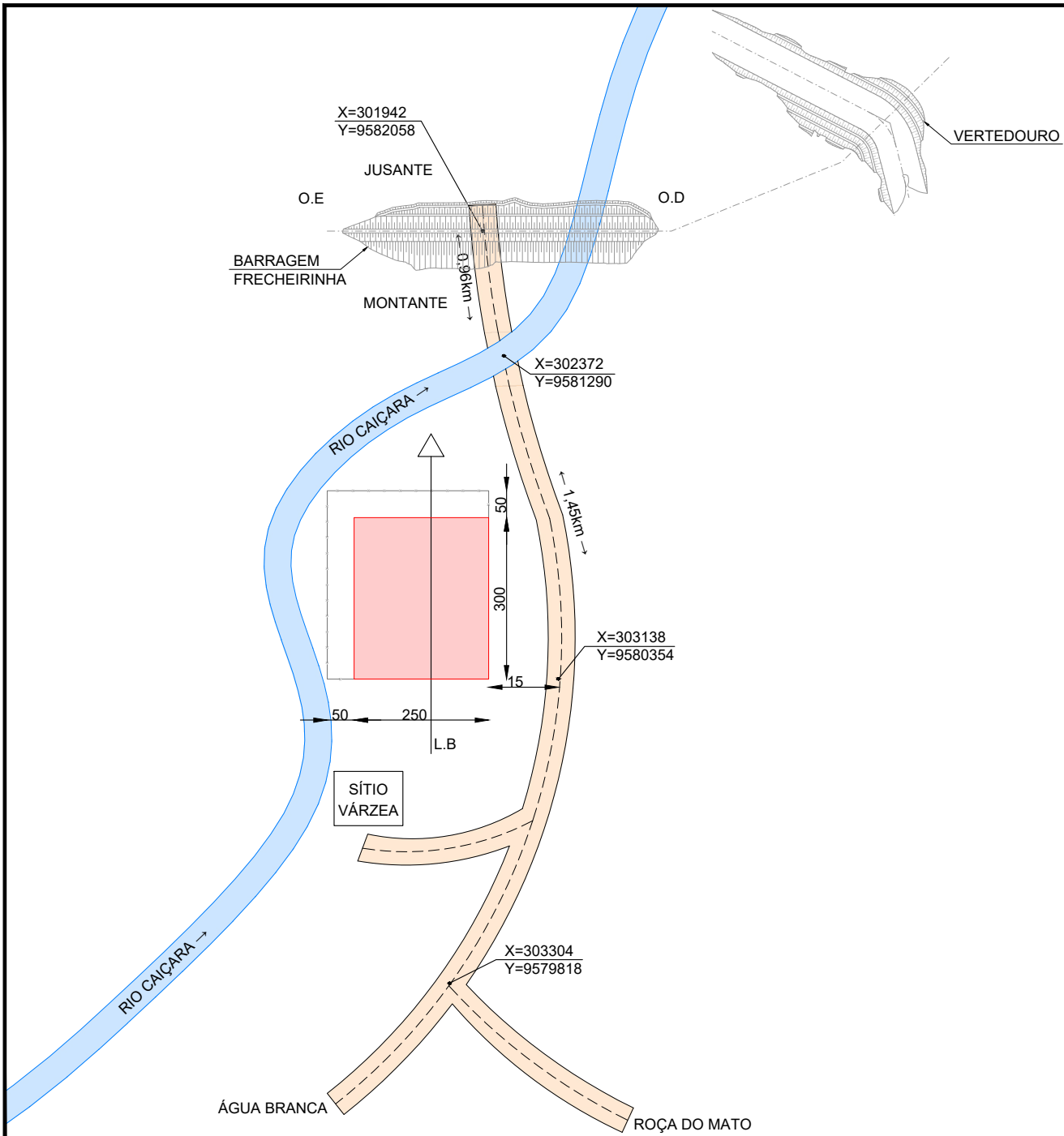

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 01

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 01
Eng ^o Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 01 - Grupo Anexo 01.dwg	PRANCHA: 01/01


TPF ENGENHARIA LTDA.



OBSERVAÇÕES:
 ÁREA : 87.500,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,92m
 VOLUME: 80.500,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 2,41 km
 VEGETAÇÃO : MATA DENSA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018
 Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

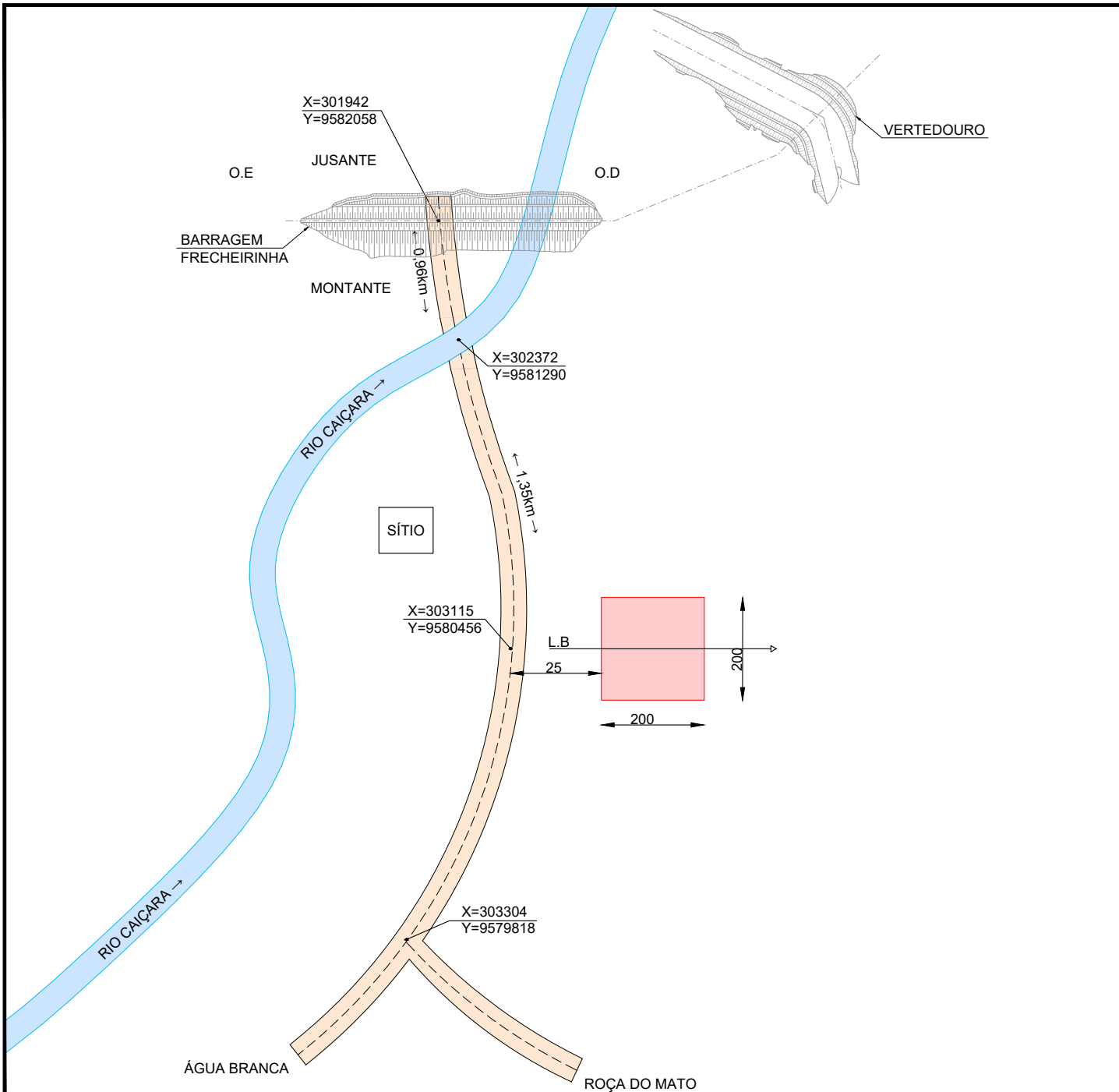
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA
 LOCALIZAÇÃO JAZIDA 02

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 02
Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: <small>02 - Grupo Jazida 02.dwg</small>	PRANCHA: 01/01
EMPRESA:		





OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 40.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 1,02 m
 VOLUME: 40.800,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 2,31 km
 VEGETAÇÃO : MATA RALA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

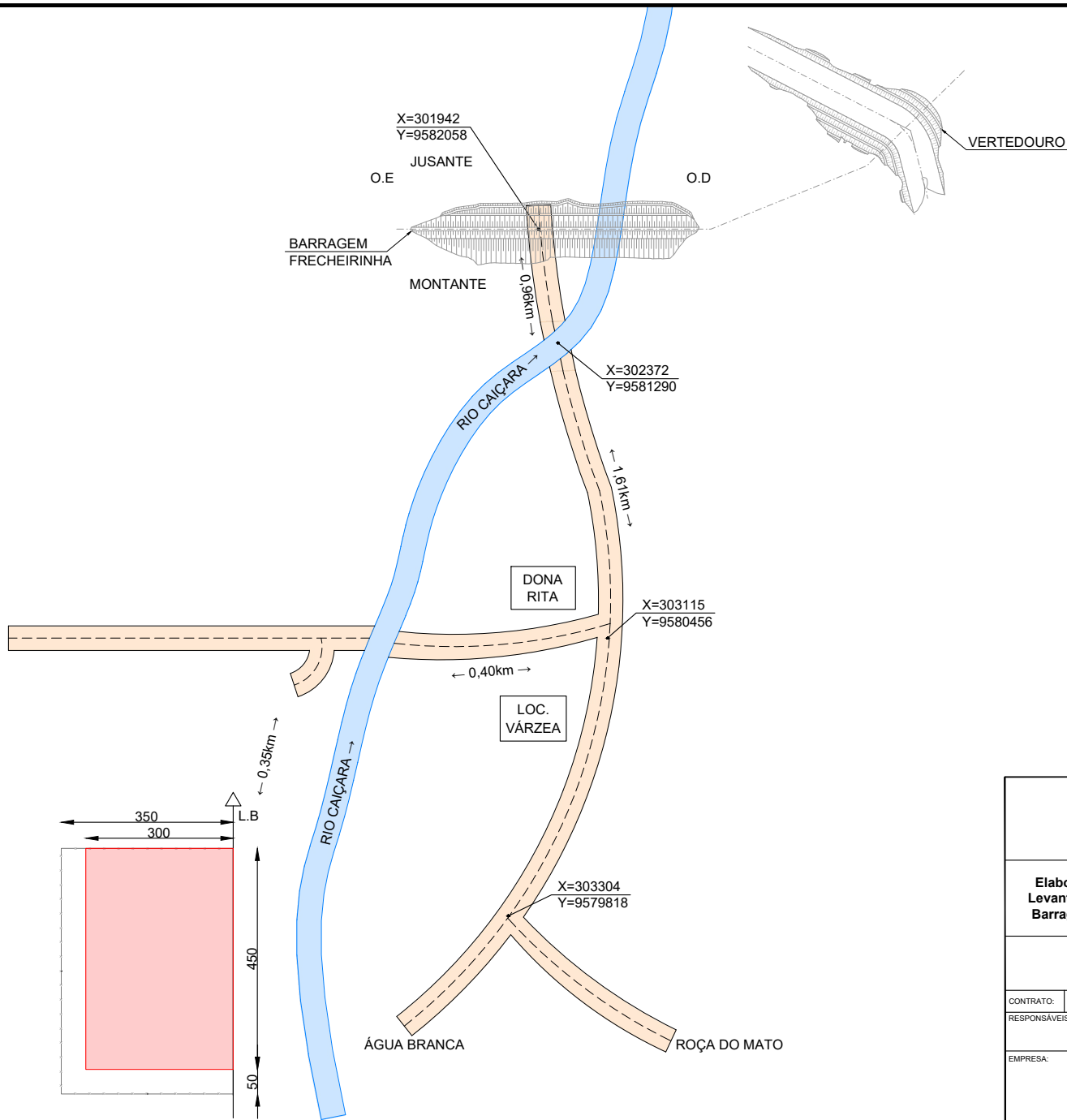

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 03

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 03
Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 03 - Grupo Jazida 03.dwg	PRANCHA: 01/01

EMPRESA: 



OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 135.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 1,02 m
 VOLUME: XXXXXX m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 3,32 km
 VEGETAÇÃO : MATA RALA ROÇADO
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

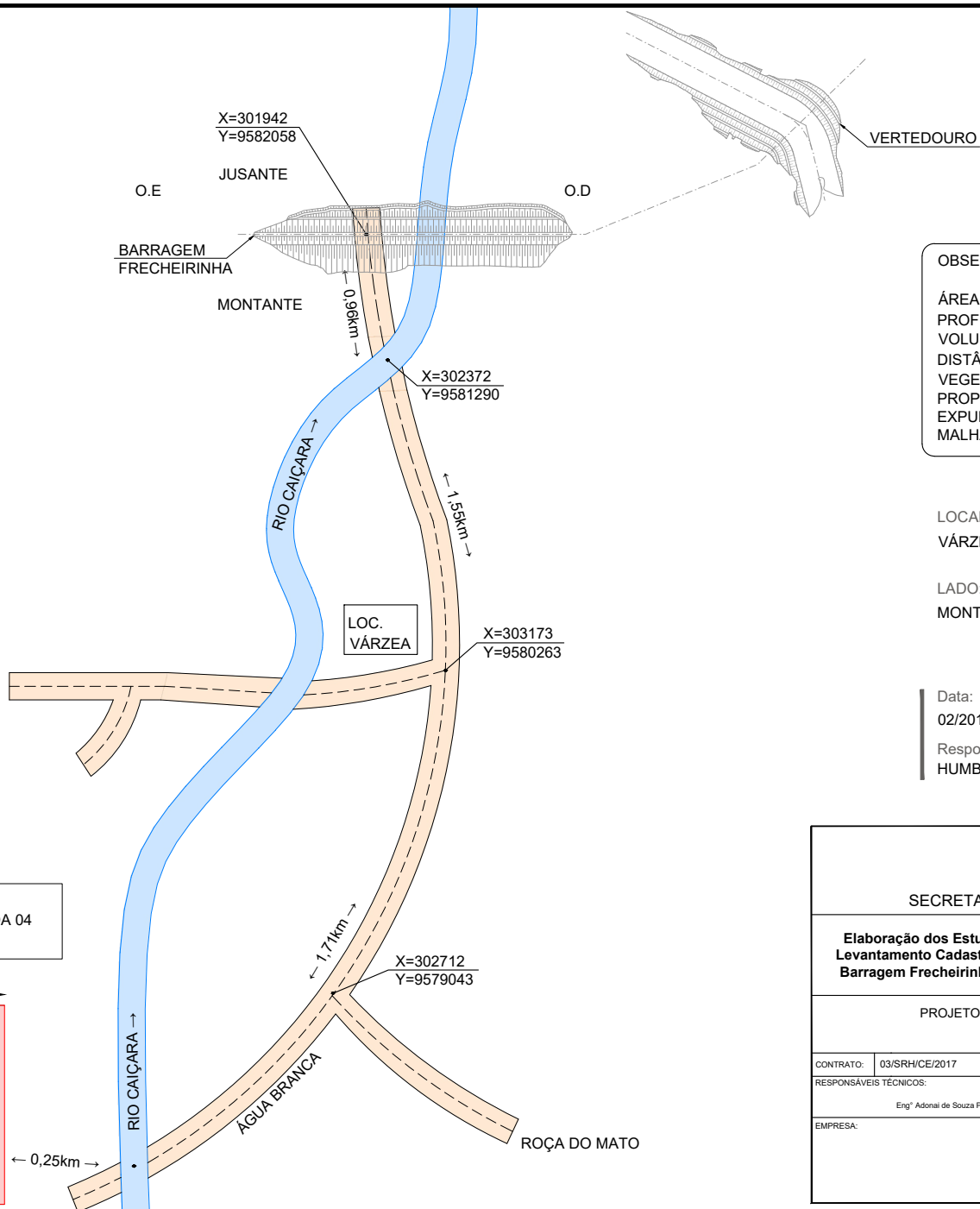

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 04

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 04
Engº Adonaldo de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 04 - Grupo Jazida 04.dwg	PRANCHA: 01/01

EMPRESA: 



OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 140.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,92 m
 VOLUME: 128.800,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 4,47 km
 VEGETAÇÃO : MATA RALA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

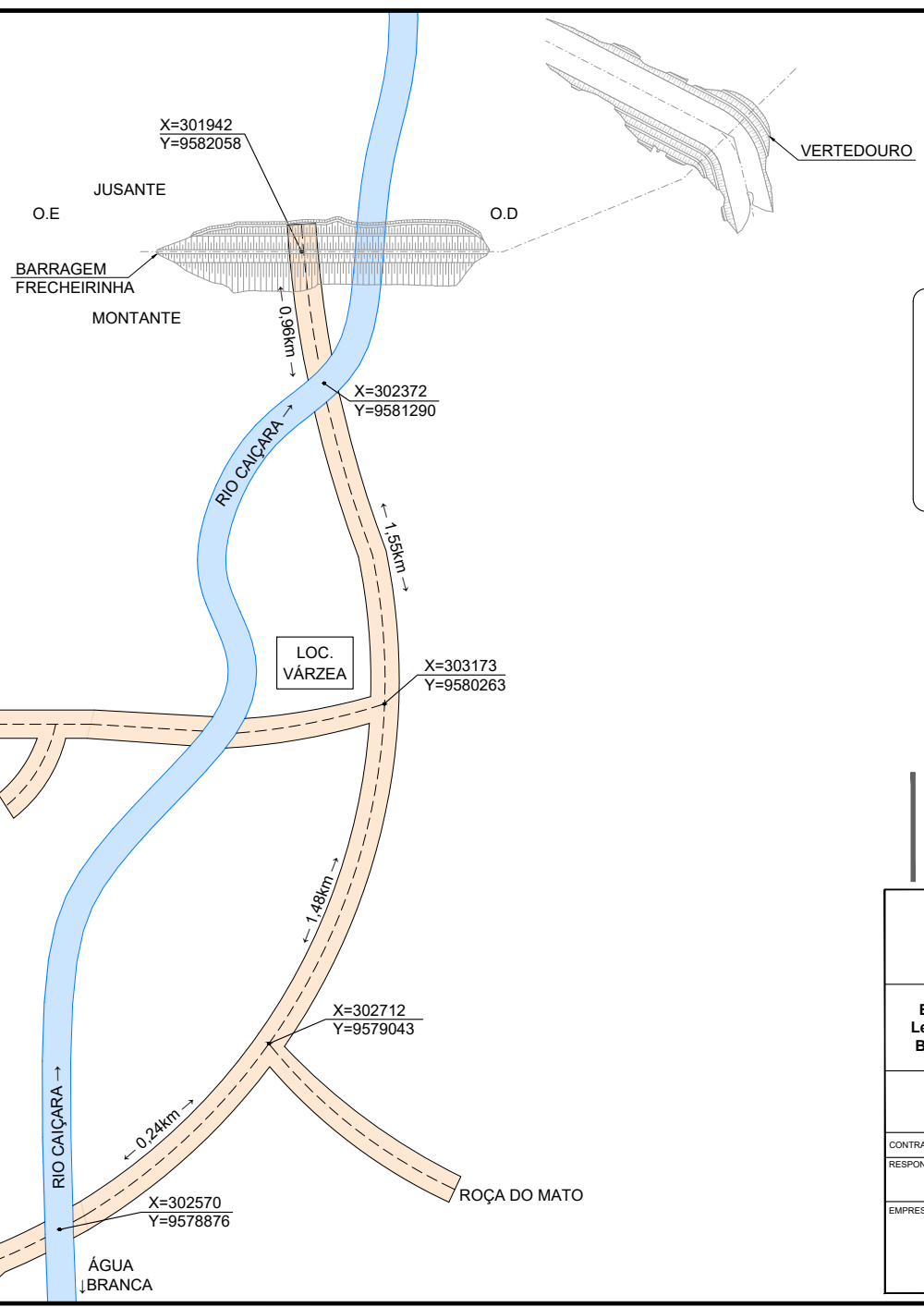

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 05

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 05
Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 03 - Grupo Anexo 05.dwg	PRANCHA: 01/01
EMPRESA:		


E.P.F.
 ENGENHARIA



OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 135.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,83 m
 VOLUME : 112.050,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 4,26 km
 VEGETAÇÃO : MATA RALA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,15 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)

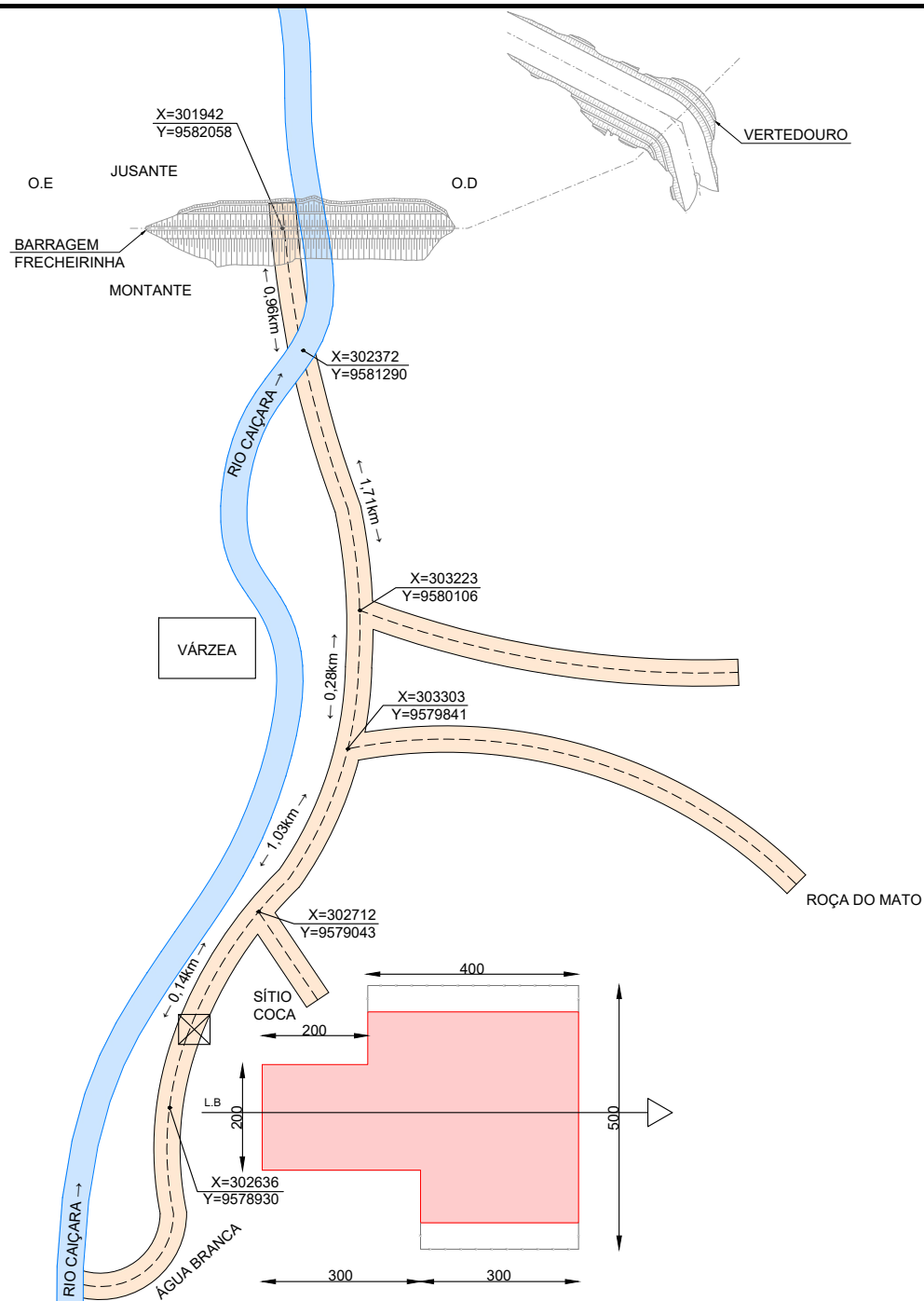

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 06

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 06
Engº Adonalde de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 06 - Cópia Assinada 06.dwg	PRANCHA: 01/01

EMPRESA: 



OBSERVAÇÕES:

ÁREA : 207.500,0 m²
 PROF. MÉDIA : 1,11 m
 VOLUME: 230.325,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 4,12 km
 VEGETAÇÃO: MATA CAPOEIRA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,10 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

 LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

 Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)


GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

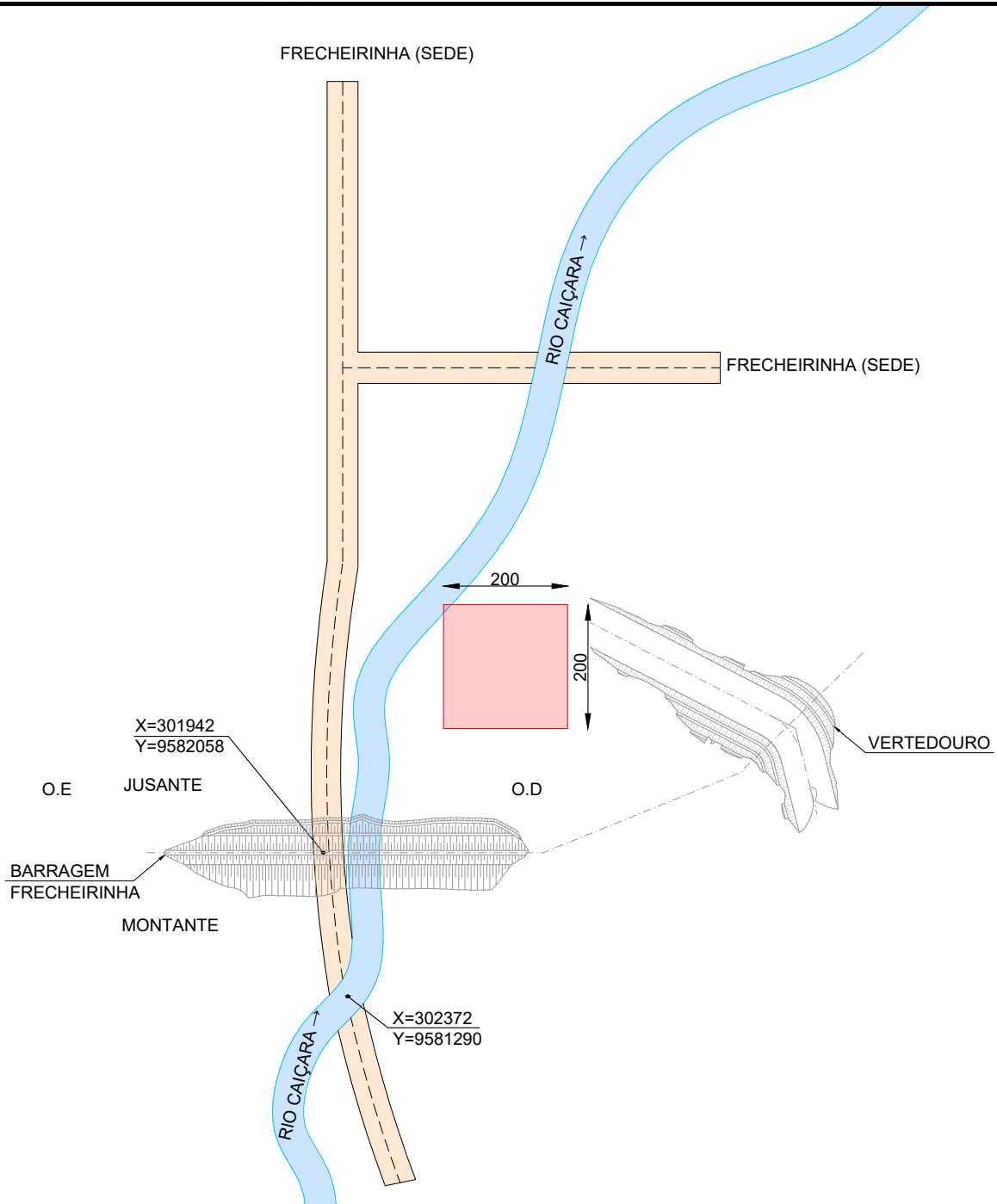
Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 07

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 07
Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 07 - Grupo Jazida 07.dwg	PRANCHA: 01/01

EMPRESA: 

FRECHEIRINHA (SEDE)



OBSERVAÇÕES:
ÁREA : 40.000,0 m²
PROF. MÉDIA : 0,91 m
VOLUME: 36.400,0 m³
DISTÂNCIA PARA O EIXO: 0,1 km
VEGETAÇÃO : MATA CAPOEIRA
PROPRIETÁRIO - INDENIZADO
EXPURGO: 0,10 m
MALHA: 100X100

LOCAL:
VÁRZEA

LADO:
MONTANTE - O.E

Data:
02/2018
Responsável:
HUMBERTO TELES

 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

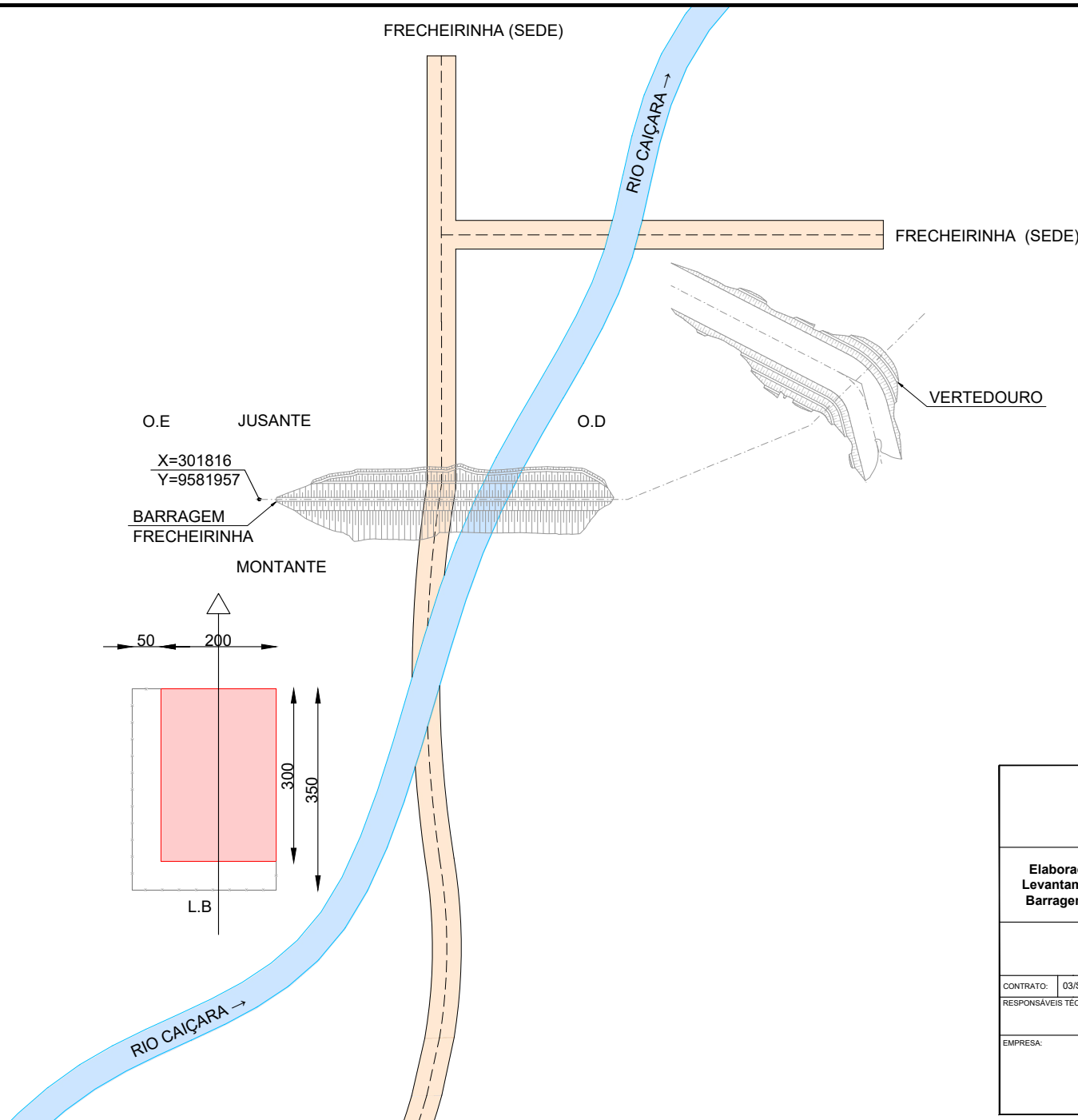
Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA
LOCALIZAÇÃO JAZIDA 08

CONTRATO:	03/SRH/CE/2017	ESCALA:	Sem Escala	DESENHISTA:	Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	DATA:	Fevereiro/2020	DESENHO:	08
		ARQUIVO:	08 - Criação Jazida 08.dwg	PRANCHA:	01/01

EMPRESA:

 E.P.F.
ENGENHARIA



OBSERVAÇÕES:

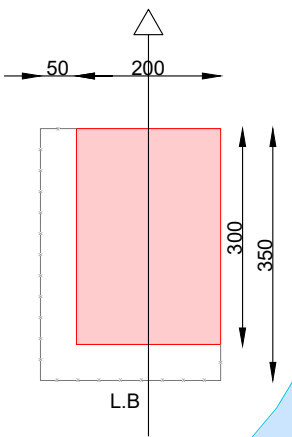
ÁREA : 60.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,95 m
 VOLUME: 57.000,00 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 0,22 km
 VEGETAÇÃO: MATA RALA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,10 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VÁRZEA

LADO:
 MONTANTE - O.E

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)



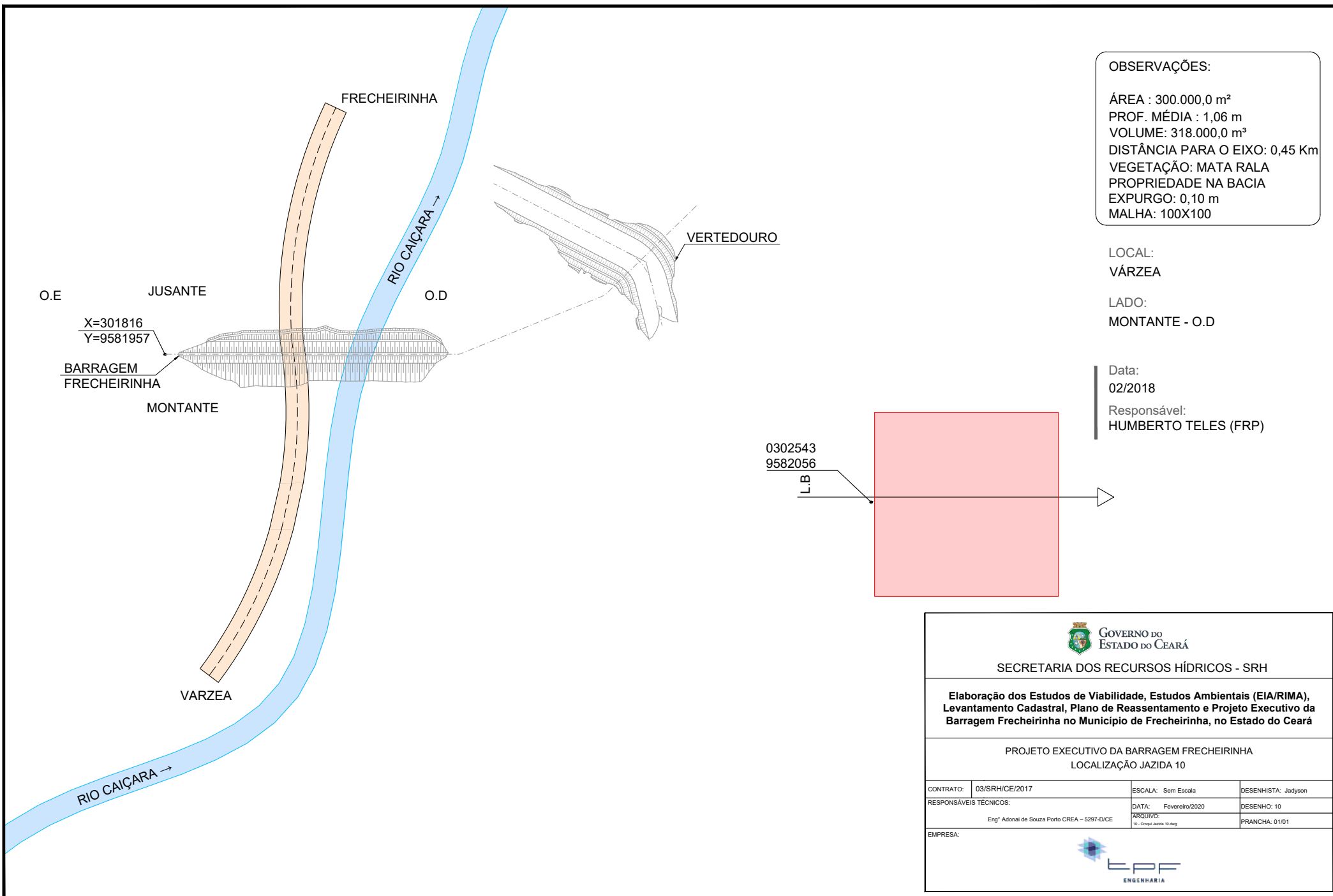

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 09

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 09
Engº Adonal de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 03 - Cópia Arquivo 09.dwg	PRANCHA: 01/01

EMPRESA: 



OBSERVAÇÕES:

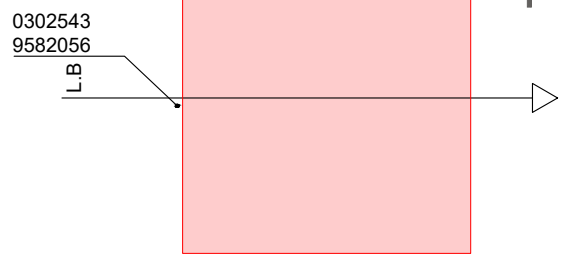
ÁREA : 300.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 1,06 m
 VOLUME: 318.000,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 0,45 Km
 VEGETAÇÃO: MATA RALA
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,10 m
 MALHA: 100X100

LOCAL:
 VARZEA

LADO:
 MONTANTE - O.D

Data:
 02/2018

Responsável:
 HUMBERTO TELES (FRP)




GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

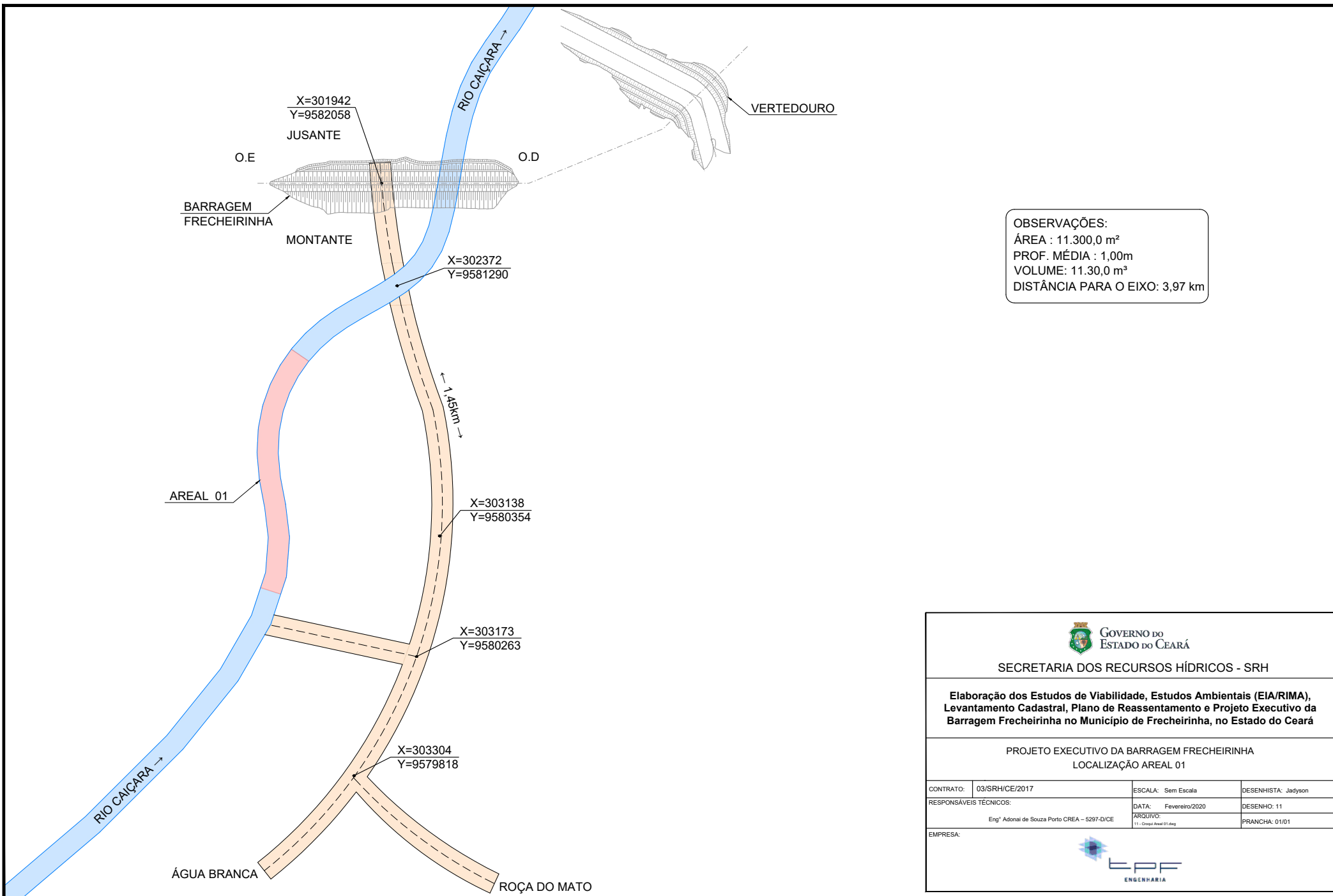
Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO JAZIDA 10

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 10
Eng ^o Adonai de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 10 - Grupo Jazida 10.dwg	PRANCHA: 01/01

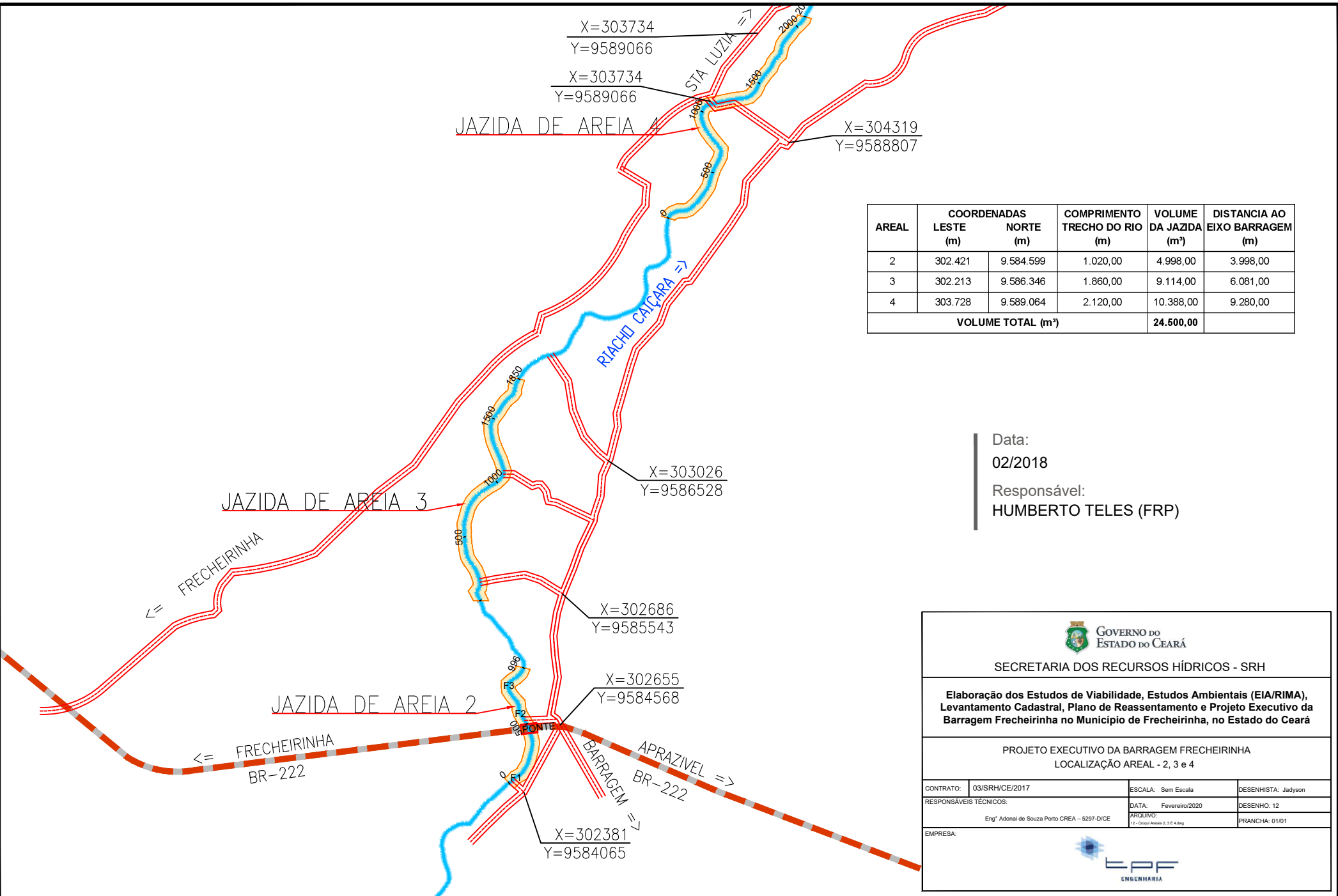
EMPRESA:


E.P.F.
 ENGENHARIA



OBSERVAÇÕES:
 ÁREA : 11.300,0 m²
 PROF. MÉDIA : 1,00m
 VOLUME: 11.30,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 3,97 km

 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ		
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		
Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará		
PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA LOCALIZAÇÃO AREAL 01		
CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 11
Engº Adonai de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: 11 - Grupo Areal 01.dwg	PRANCHA: 01/01
EMPRESA:		
		



X=303734
Y=9589066

X=303734
Y=9589066

JAZIDA DE AREIA 1

X=304319
Y=9588807

AREAL	COORDENADAS LESTE (m)	NORTE (m)	COMPRIMENTO TRECHO DO RIO (m)	VOLUME DA JAZIDA (m³)	DISTANCIA AO EIXO BARRAGEM (m)
2	302.421	9.584.599	1.020,00	4.998,00	3.998,00
3	302.213	9.586.346	1.860,00	9.114,00	6.081,00
4	303.728	9.589.064	2.120,00	10.388,00	9.280,00
VOLUME TOTAL (m³)				24.500,00	

JAZIDA DE AREIA 3

X=303026
Y=9586528

FRECHEIRINHA

X=302686
Y=9585543

JAZIDA DE AREIA 2

X=302655
Y=9584568

FRECHEIRINHA
BR-222

X=302381
Y=9584065

BARRAGEM
APRAZIVEL
BR-222

Data:
02/2018

Responsável:
HUMBERTO TELES (FRP)



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

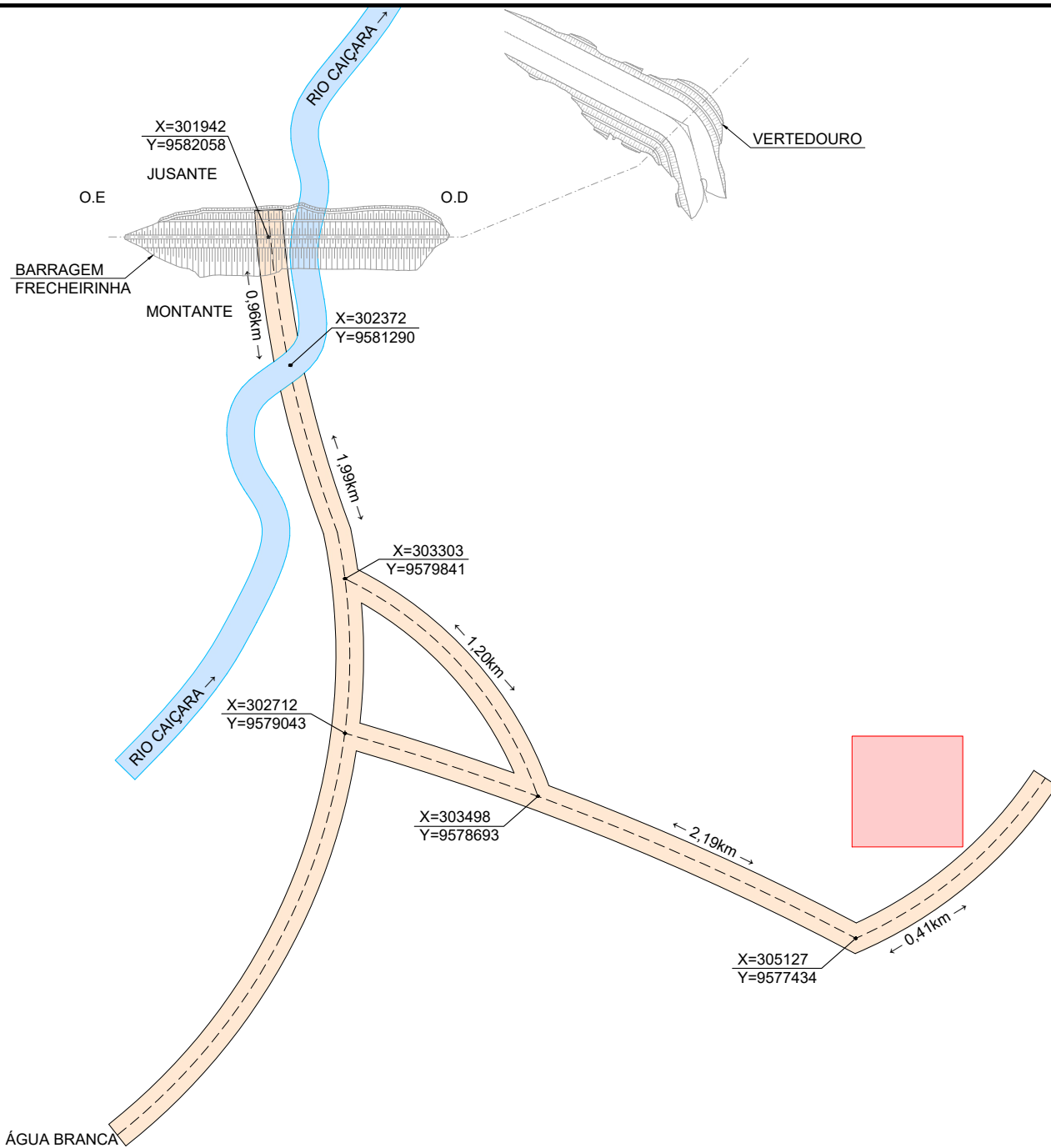
Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA
LOCALIZAÇÃO AREAL - 2, 3 e 4

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 12
Engº Adonalde de Souza Porto CREA - 5297-D/CE	ARQUIVO: 12 - Grupo Areal - 2, 3 e 4.dwg	PRANCHA: 01/01



LAF
ENGENHARIA



OBSERVAÇÕES:
 ÁREA : 00.000,0 m²
 PROF. MÉDIA : 0,00m
 VOLUME: 00.000,0 m³
 DISTÂNCIA PARA O EIXO: 6,75 km
 VEGETAÇÃO :
 PROPRIEDADE NA BACIA
 EXPURGO: 0,00 m
 MALHA: 000X000



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

**Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA/RIMA),
Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da
Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará**

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA
LOCALIZAÇÃO JAZIDA PEDRA (PEDREIRA)

CONTRATO: 03/SRH/CE/2017	ESCALA: Sem Escala	DESENHISTA: Jadyson
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	DATA: Fevereiro/2020	DESENHO: 13
Eng ^o Adonai de Souza Porto CREA – 5297-D/CE	ARQUIVO: <small>13 - Grupo Pedreira.dwg</small>	PRANCHA: 01/01

EMPRESA:



E.P.F.
ENGENHARIA

